

**VULNÉRABILITÉ DES LACS DE SAINT-ADOLPHE-D'HOWARD FACE À L'INTRODUCTION
ET LA PROPAGATION DU MYRIOPHYLLE À ÉPI**



Rapport produit par

Le Conseil régional de l'environnement des Laurentides

Dans le cadre du programme de

Soutien technique des lacs de Bleu Laurentides en 2019

Rédaction

Mélissa Laniel
Chargée de projet *Bleu Laurentides*, CRE Laurentides

Élodie Basque et Maryse Proulx
Agentes de liaison du *Soutien technique des lacs de Bleu Laurentides* en 2019

Révision

Anne Léger
Directrice générale, CRE Laurentides

Isabelle Saint-Germain
Directrice, projets et communications, CRE Laurentides

Richard Carignan, PhD

Note au lecteur : *Il est préférable de consulter la version électronique en couleur afin de faciliter la lecture*

Référence à citer :

Conseil régional de l'environnement des Laurentides (2020). **Vulnérabilité des lacs de Saint-Adolphe-d'Howard face à l'introduction et la propagation du myriophylle à épi**, 39 p.

Table des matières

Liste des figures	II
Liste des tableaux	II
Acronymes	III
Définitions	III
Mise en garde	1
Sommaire	1
1. Mise en contexte	2
1.1 Les plantes aquatiques exotiques envahissantes et le myriophylle à épi.....	2
1.1.1. Le myriophylle à épi.....	2
1.2 La municipalité de Saint-Adolphe-d'Howard.....	4
2. Description du projet	6
2.1 But et objectifs.....	6
2.2 Types d'analyses.....	6
2.2.1 Revue de la littérature.....	6
2.2.2 Analyse multicritère.....	6
2.2.3 Tests statistiques.....	7
3. Résultats	8
3.1 Revue de la littérature scientifique.....	8
3.1.1 Facteurs liés à l'introduction du myriophylle à épi.....	8
3.1.2 Facteurs liés à la propagation du myriophylle à épi.....	10
3.2 Compilation des données pour les lacs des Laurentides.....	13
3.2.1 Choix des lacs.....	13
3.2.2 Sources des données.....	14
3.3 Tests statistiques.....	15
3.4 Analyse multicritère.....	16
3.4.1 Vulnérabilité des lacs face à l'introduction du myriophylle à épi.....	16
3.4.2 Vulnérabilité des lacs face à la propagation du myriophylle à épi.....	21
3.4.3 Récapitulatif des résultats.....	25
4. Discussion et recommandations	26
5. Limites de l'étude	28
6. Références	30
7. Annexes	33
Annexe 1 – Répartition des lacs de Saint-Adolphe-d'Howard et de Saint-Donat non affectés (NA), ainsi que des lacs des Laurentides affectés par le myriophylle à épi selon les critères de vulnérabilité face à l'introduction.....	33
Annexe 2 – Pointages obtenus à la suite de l'analyse multicritère de la vulnérabilité des lacs de Saint-Adolphe-d'Howard (n=25), Saint-Donat (n=16) et des lacs affectés des Laurentides (n=38) face à l'introduction du myriophylle à épi.....	34
Annexe 3 – Pointages obtenus à la suite de l'analyse multicritère de la vulnérabilité des lacs de Saint-Adolphe-d'Howard (n=11), Saint-Donat (n=10) et des lacs affectés des Laurentides (n=24) face à la propagation du myriophylle à épi.....	38

Liste des figures

Figure 1. Myriophylle à épi	3
Figure 2. Les plans d'eau de Saint-Adolphe-d'Howard.....	5
Figure 3. Localisation approximative des 44 signalements de myriophylle à épi dans les Laurentides, selon l'outil Sentinelle du MELCC	13
Figure 4. Vulnérabilité des lacs analysés face à l'introduction du myriophylle à épi (n=79)	17
Figure 5. Vulnérabilité des lacs analysés de Saint-Adolphe-d'Howard face à l'introduction du myriophylle à épi.....	20
Figure 6. Vulnérabilité des lacs analysés face à la propagation du myriophylle à épi (n=45)	22
Figure 7. Vulnérabilité des lacs de Saint-Adolphe-d'Howard face à la propagation du myriophylle à épi	24

Liste des tableaux

Tableau I. Résultats des tests de comparaison Kruskal-Wallis et Chi-carré entre les lacs affectés et non affectés pour les variables d'introduction.....	15
Tableau II. Critères pour la vulnérabilité à l'introduction du myriophylle à épi et pointage associé	16
Tableau III. Valeurs moyennes, médianes, maximales et minimales des pointages obtenus pour les critères d'introduction des lacs affectés et non affectés.....	19
Tableau IV. Nombre de lacs peu vulnérables, vulnérables et très vulnérables à l'introduction du myriophylle à épi par catégorie	19
Tableau V. Lacs vulnérables et très vulnérables à l'introduction du myriophylle à épi	20
Tableau VI. Critères pour la vulnérabilité à la propagation du myriophylle à épi et pointages associés.....	21
Tableau VII. Nombre de lacs peu vulnérables, vulnérables et très vulnérables à la propagation du myriophylle à épi par catégorie	23
Tableau VIII. Lacs vulnérables et très vulnérables à la propagation du myriophylle à épi.....	24
Tableau IX. Degré de vulnérabilité des lacs de Saint-Adolphe-d'Howard à l'introduction et à la propagation du myriophylle à épi obtenus en fonction des critères étudiés.....	25

Acronymes

CRE	Conseil régional de l'environnement
MàÉ	Myriophylle à épi
MELCC	Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
MRC	Municipalité régionale de comté
PAEE	Plante aquatique exotique envahissante
TNO	Territoire non organisé

Définitions

Note : La plupart des définitions proviennent de la Trousse des lacs ou d'autres ouvrages de la littérature utilisés pour la production de ce rapport. Les concepts propres à cette étude sont définis par les auteurs en fonction des besoins à exprimer.

Amont : Partie d'un cours d'eau située entre un point de référence et sa source.

Analyse multicritère : Analyse dont l'objectif est d'évaluer une situation, d'un problème en fonction de plusieurs critères.

Conductivité spécifique : Mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, donc une mesure indirecte de la teneur de l'eau en ions. Un ion est un atome (constituant de base de la matière) ou un groupe d'atomes qui possède une charge électrique positive ou négative. Ainsi, plus l'eau contient des ions, plus elle est capable de conduire un courant électrique et plus la conductivité est élevée.

Introduction (du myriophylle à épi) : Dans cette étude, on considère l'introduction dans un plan d'eau comme la probabilité qu'un plant, ou un fragment, y parvienne, sans égard à son implantation.

Macrophytes : Algues visibles et plantes des milieux aquatiques.

Méthode de classification par quantile : Système de classement ayant pour objectif que chaque classe contienne un nombre égal d'entités.

Myriophylle à épi (*Myriophyllum spicatum*) : Plante aquatique submergée et enracinée originaire de l'Europe, de l'Asie et de l'Afrique dont les feuilles, disposées en verticilles sont divisées, d'apparence plumeuse et composées de 12 à 24 paires de folioles.

Plante aquatique exotique envahissante : Plante aquatique qui est présente à l'extérieur de son aire de répartition naturelle et qui prospère au détriment des espèces indigènes.

Physicochimie : Ensemble des propriétés physiques et chimiques caractérisant un plan d'eau.

Propagation (du myriophylle à épi) : Dans cette étude, on considère la propagation comme étant le succès de colonisation à l'intérieur même d'un plan d'eau.

Tests statistiques (Kruskal-Wallis, Chi-carré) : Tests qui servent à déceler s'il y a une différence significative (qui n'est pas due au hasard) entre deux distributions de données.

Transparence de l'eau : Propriété de l'eau à transmettre la lumière. La quantité de matière organique dissoute et particulaire (sous forme d'algues) dans l'eau influence particulièrement la pénétration de la lumière dans un lac.

Unité de drainage : Territoire dont les eaux se déversent directement dans un plan d'eau (également appelé bassin versant immédiat).

Zone littorale : Zone qui comprend tous les secteurs d'un plan d'eau où la lumière pénètre jusqu'au fond et où, par extension, les plantes aquatiques peuvent croître.

Mise en garde

Cette étude se veut un premier jalon dans l'identification de la vulnérabilité des lacs face à l'introduction et à la propagation du myriophylle à épi, réalisé à partir d'une liste de critères issus de la littérature scientifique. Les auteures ne prétendent pas que cette liste utilisée pour fins d'analyse soit exhaustive. Ainsi, il importe de comprendre que l'ajout d'autres critères pourrait faire varier les résultats. Il s'agit néanmoins d'une première piste d'analyse qui pourra être bonifiée avec le temps.

Sommaire

Déjà présent dans une quarantaine de lacs de la région des Laurentides, le myriophylle à épi se trouve dans plusieurs plans d'eau situés à proximité de la municipalité de Saint-Adolphe-d'Howard. Dans le but d'estimer la vulnérabilité des lacs de la municipalité face à l'**introduction** et/ou à la **propagation** de cette plante aquatique exotique envahissante, nous avons procédé à différentes analyses. Tout d'abord, une **revue de la littérature** scientifique a été réalisée afin d'identifier certains critères de vulnérabilité prépondérants. Après avoir compilé les données de 41 lacs non affectés par le myriophylle à épi de Saint-Adolphe-d'Howard et de Saint-Donat ainsi que de 38 lacs affectés des Laurentides, des **tests statistiques** ont servi à pondérer le choix des critères pour déterminer la vulnérabilité à l'introduction. Ensuite, une **analyse multicritère**, qui consiste à l'attribution de points pour chaque critère, a permis d'identifier quelques lacs potentiellement plus vulnérables à l'introduction et la propagation du myriophylle à épi.

Les tests statistiques montrent des différences significatives entre les groupes de lacs affectés et non affectés pour cinq des six critères liés à l'**introduction** du myriophylle à épi. Ceux ayant la plus grande influence seraient : le nombre d'habitations riveraines et la proximité d'un lac affecté. L'analyse multicritère quant-à-elle, identifie 14 lacs non affectés comme étant vulnérables (et très vulnérables), dont six se situent à Saint-Adolphe-d'Howard. Ainsi, 24% des lacs analysés de cette municipalité seraient vulnérables à l'introduction du myriophylle à épi. De ceux-ci, le lac Saint-Joseph se retrouve dans la catégorie des lacs très vulnérables. La vulnérabilité du lac Sainte-Marie est probablement plus grande que ne l'indiquent les résultats de l'analyse et similaire à celle du lac Saint-Joseph, puisqu'il est possible de circuler en embarcation d'un lac à l'autre.

Selon l'analyse de certaines propriétés morphométriques et physicochimiques, du niveau d'enrichissement des sédiments en éléments nutritifs et des usages, neuf lacs de la municipalité, parmi ceux analysés, seraient vulnérables à la **propagation** du myriophylle à épi. De ceux-ci, les lacs Gémont, Louise, Garry, Vert et à la Truite seraient évalués comme étant très vulnérables.

Enfin, les résultats suggèrent que seul le lac Saint-Joseph de Saint-Adolphe-d'Howard serait à la fois vulnérable à l'introduction et à la propagation du myriophylle à épi, bien que Sainte-Marie le soit sans doute également.

1. MISE EN CONTEXTE

1.1 Les plantes aquatiques exotiques envahissantes et le myriophylle à épi

Une plante aquatique est qualifiée d'exotique lorsqu'elle est présente à l'extérieur de son aire de répartition naturelle. Cette plante étrangère n'a bien souvent pas de « prédateurs » dans le nouveau milieu colonisé. Ce facteur, combiné à d'autres avantages liés aux modes de croissance et de reproduction, lui permet de devenir une féroce compétitrice des plantes indigènes, au point de devenir envahissante.

Les plantes aquatiques exotiques envahissantes (PAEE) peuvent représenter une sérieuse menace pour l'environnement. Elles peuvent altérer la composition des écosystèmes naturels et perturber la biodiversité locale. Leur prolifération a aussi des répercussions négatives sur l'économie et la société, notamment en affectant le tourisme et la villégiature. Des activités récréatives comme la pêche, le canotage et la baignade peuvent être limitées par la présence ou l'infestation des PAEE. La multiplication des PAEE peut même affecter négativement la valeur des propriétés riveraines (Olden et Tamayo, 2014a; Zhang et Boyle, 2010).

Le contrôle et la gestion des PAEE sont un vrai « casse-tête ». Une fois ces PAEE installées, il est presque impossible de limiter leur propagation. C'est pourquoi il faut éviter qu'elles ne colonisent nos lacs. Au Québec, plusieurs espèces de PAEE sont présentes et établies à des degrés variables dont la stratiote faux-aloès (*Stratiotes aloides*), appelée aussi aloès d'eau, l'hydrocharide grenouillette (*Hydrocharis morsus-ranae*), le faux-nymphéa pelté (*Nymphoides peltata*), la châtaigne d'eau (*Trapa natans*), le potamot crépu (*Potamogeton crispus*), la laitue d'eau (*Pistia stratiotes*)¹ et le myriophylle à épi (*Myriophyllum spicatum*).

1.1.1. Le myriophylle à épi

Le myriophylle à épi (MàÉ) est une espèce de PAEE eurasienne bien établie au Québec. Cette plante aurait été introduite à la fin des années 50 le long du fleuve Saint-Laurent et se serait ensuite propagée dans les plans d'eau à l'intérieur des terres à partir des années 70. En 2017, elle se retrouvait dans 14 des 17 régions administratives du Québec (Jacob-Racine et Lavoie, 2018).

Cette plante submergée forme des herbiers très denses et peut croître à des profondeurs allant jusqu'à 10 mètres. On la retrouve généralement en plus grande abondance dans la zone peu profonde des lacs, variant de 1 à 4 mètres (Smith et Barko, 1990).

¹ La présence d'une petite colonie (80 individus) de laitue d'eau (*Pistia stratiotes*) a été signalée sur l'outil [Sentinelle](#) du MELCC en 2019, dans le lac des Deux-Montagnes. Étant une plante tropicale à subtropicale, il est probable que celle-ci ne puisse survivre dans les conditions climatiques du Québec, mais elle fait partie des plantes à suivre selon le *Protocole de détection et de suivi des plantes aquatiques exotiques envahissantes (PAEE) dans les lacs de villégiature du Québec*.

En plus de la rareté de ses « prédateurs » naturels, le myriophylle à épi dispose de trois atouts supplémentaires. Le premier réside dans le fait qu'il peut se reproduire par fragmentation de la tige. Ainsi, un petit morceau détaché peut couler au fond, prendre racine et donner naissance à un nouveau plant. La multiplication des fragments de tige permet au myriophylle à épi de coloniser rapidement les plans d'eau. La fragmentation se produit naturellement, à partir de la période de floraison de la plante, lorsqu'elle atteint la surface de l'eau, jusqu'à la fin de sa saison de croissance. Ce phénomène peut cependant être amplifié par les activités humaines qui contribuent à sectionner la plante. Les fragments de myriophylle à épi peuvent être transportés d'un plan d'eau à un autre par le courant, ainsi que par les embarcations (chaloupe, bateau, canot, kayak, hydravion, etc.) et le matériel nautique. En second lieu, le myriophylle à épi possède un système racinaire extrêmement bien développé qui lui permet de puiser ses nutriments en profondeur dans les sédiments. Enfin, la persistance des tiges sous la glace confère au myriophylle à épi un avantage considérable au début de la saison de croissance (Carignan R., 2019).

L'introduction du myriophylle à épi dans un plan d'eau ne génère pas toujours une prolifération massive et une augmentation effrénée de sa biomasse. En effet, certaines conditions favorisent la croissance et le développement du myriophylle à épi. Par exemple, les lacs peu profonds ayant des sédiments riches en éléments nutritifs offrent des conditions favorables à la prolifération de l'espèce et permettent la formation d'une canopée luxuriante à la surface de l'eau (Smith et Barko, 1990).

Plusieurs auteurs mentionnent un lien entre la prolifération du myriophylle à épi et la concentration en carbonates, laquelle est plus importante dans les eaux dures et alcalines s'écoulant des géologies carbonatées (Smith et Barko, 1990; Roley et Newman, 2008; Nichols, 1994; Buchan et Padilla, 2000). En effet, les anions carbonate (CO_3^{2-}) et bicarbonate (HCO_3^-) peuvent être assimilés par certaines plantes aquatiques qui les utilisent pour croître. Ainsi, le myriophylle à épi semble se développer favorablement dans les eaux ayant une alcalinité, un pH et une conductivité spécifique élevés (June-Wells et al., 2013).



Figure 1. Myriophylle à épi

1.2 La municipalité de Saint-Adolphe-d'Howard

La municipalité de Saint-Adolphe-d'Howard est située dans la région des Laurentides, dans la municipalité régionale de comté (MRC) des Pays-d'en-Haut. La majeure partie de son territoire fait partie du bassin versant de la rivière du Nord, et une petite portion se trouve dans le bassin versant de la rivière Rouge.

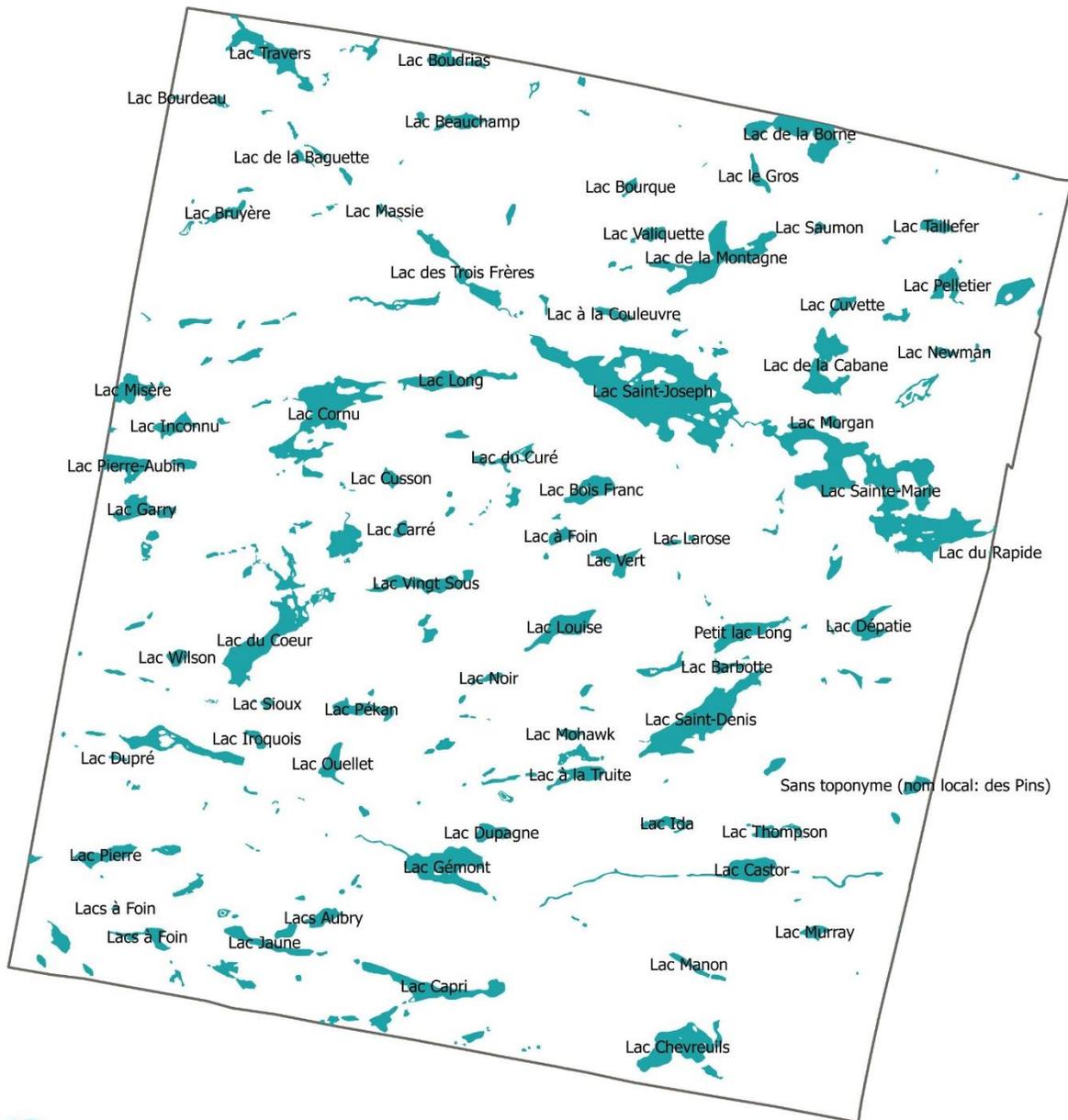
La MRC des Pays-d'en-Haut, dont la population est en forte croissance, a une densité de 63 habitants/km², selon les données de 2017. Celle de la municipalité de Saint-Adolphe-d'Howard est plus faible avec une valeur de 26,1 habitants/km², ce qui correspond à une population de 3546 résidents répartis sur une superficie terrestre de 135,8 km² (ISQ, 2019; MAMH, 2019). En 2014, on y comptait toutefois 1900 propriétés de villégiature, ce qui en faisait la municipalité ayant la plus forte présence de résidents occasionnels de la MRC (MRC des Pays-d'en-Haut, 2015).

L'économie de Saint-Adolphe-d'Howard se base principalement sur la villégiature et le récréotourisme. La proximité de la métropole combinée à la beauté des paysages et d'autres atouts prisés des amateurs de plein air (station de ski, centre de plein air, entreprise de sports de montagne et présence de nombreux lacs), attirent un grand nombre de villégiateurs. Le territoire compte 301 plans d'eau (lacs, étangs) dont 81 possèdent un toponyme officiel (Figure 2). Parmi ceux-ci, le lac Saint-Joseph possède une plage, plusieurs parcs et un débarcadère municipal. La protection des lacs est donc d'une importance capitale aux niveaux économique, social et environnemental pour la municipalité. L'une des menaces qui pèsent sur leur santé est l'introduction de plantes aquatiques exotiques envahissantes.

D'ailleurs, en 2012, la municipalité de Saint-Adolphe-d'Howard a adopté un règlement sur la protection des berges, des plans d'eau et de l'accès aux lacs². L'article 12 de ce règlement, concerne la protection contre la contamination par des espèces étrangères et stipule que toute embarcation motorisée ou non « doit avoir fait l'objet d'un lavage de sa coque afin qu'aucune substance organique n'y soit présente, à un poste de lavage reconnu par la municipalité ou chez un concessionnaire reconnu. » Il est aussi mentionné que les eaux résiduelles se trouvant dans les réservoirs ou compartiments, tels que les ballasts et le pied du moteur, doivent être vidées. En outre, il est possible de nettoyer gratuitement son embarcation à la station de lavage située au centre de plein air de la municipalité.

² Règlement sur la protection des berges, des plans d'eau et de l'accès aux lacs, Municipalité de Saint-Adolphe-d'Howard, <https://www.stadolpheedhoward.qc.ca/fichiers/2015/09/741.pdf>

Plan d'eau
 Limite municipale



Source des données:
 CanVec, GéoGratis, Gouvernement
 du Canada
 Projection NAD83 - MTM 8
 Réalisation: CRE Laurentides, 2019

Figure 2. Les plans d'eau de Saint-Adolphe-d'Howard

2. DESCRIPTION DU PROJET

2.1 But et objectifs

Dans le but d'améliorer les connaissances et de renforcer les mesures de prévention déjà en place, les municipalités de Saint-Adolphe-d'Howard et de Saint-Donat ont participé au programme de Soutien technique des lacs en 2019. L'un des objectifs des mandats consistait à analyser la vulnérabilité des lacs face au myriophylle à épi. Bien que la plante n'ait pas été observée dans ces municipalités, la menace de son introduction est toutefois bien présente puisque plusieurs lacs affectés se situent à proximité (Figure 3; MELCC, 2019).

L'étude considère les lacs non affectés, pour lesquels des données sont disponibles sur le territoire de ces deux municipalités, ainsi que les lacs affectés par le myriophylle à épi de la région des Laurentides (section 3.2.1).

2.2 Types d'analyses

2.2.1 Revue de la littérature

Tout d'abord, une **revue de la littérature scientifique** a été réalisée. Celle-ci a permis d'établir une liste de **critères** de vulnérabilité des lacs au myriophylle à épi, lesquels ont été divisés en deux groupes : ceux qui influencent le risque **d'introduction** du myriophylle à épi et ceux qui contribuent à sa **propagation** à l'intérieur d'un lac (section 3.1).

Le volet de l'étude lié à l'**introduction** utilise les critères qui contribuent à augmenter ou diminuer les risques qu'un fragment de myriophylle parvienne au lac par une source naturelle ou humaine, sans égard à sa capacité de s'y implanter (section 3.1.1). Les facteurs qui influencent le succès de colonisation du myriophylle à épi, une fois que celui-ci est introduit dans le plan d'eau, servent au volet de l'étude qui traite de la **propagation** (section 3.1.2). Cette distinction est importante puisqu'un lac pourrait être vulnérable à l'introduction sans être nécessairement propice à une prolifération du myriophylle à épi.

2.2.2 Analyse multicritère

Chaque **critère** ayant fait l'objet d'une validation scientifique (Tableaux II et VI) a été subdivisé en sous critères de manière à déterminer son importance relative. Par exemple, pour le volet de l'**introduction**, le critère concernant l'accès à un plan d'eau a été subdivisé afin de différencier les lacs selon la présence d'un seul ou de plusieurs accès public, d'accès privés partagés ou de l'absence d'accès. Puis, une pondération a été attribuée à chacun des sous-critères. Celle-ci a été allouée selon une évaluation de leur importance relative effectuée à la lumière des observations sur le terrain et de l'analyse de la littérature scientifique.

Une approche semblable a été utilisée par le *Maine Department of Environmental Protection* dans une étude sur la vulnérabilité des lacs face aux PAEE (*Maine Department of Environmental Protection, 2019*). Dans notre étude, une pondération similaire à celle du Maine a été utilisée.

Chacun des lacs étudiés a été analysé en fonction des différents critères et de leur poids relatif. Les différentes données ont été recueillies majoritairement par des recherches terrains, alors que d'autres ont été déterminées par géomatique (section 3.2.2).

La somme des pointages obtenus a finalement permis de comparer la vulnérabilité des lacs entre eux, autant pour le volet concernant l'**introduction** du myriophylle à épi que celui concernant sa **propagation** (section 3.4).

2.2.3 Tests statistiques

Dans le volet concernant le risque d'**introduction** du myriophylle à épi, les tests statistiques ont servi à deux aspects. D'une part, ils ont permis d'évaluer, sur la base des critères retenus, s'il y avait des différences significatives entre les groupes de lacs affectés et non affectés. Les tests de Kruskal-Wallis et de Chi-carré ont ainsi mis en évidence que les deux distributions présentaient des différences suffisamment significatives pour considérer les critères choisis, corroborant ainsi les informations de la littérature. D'autre part, ces tests ont contribué à la pondération des critères, en fonction du degré de significativité obtenu pour chacun, qui ont été appliqués dans l'analyse multicritère.

Le test de Kruskal-Wallis a été utilisé pour les données quantitatives continues (par exemple, la distance d'un lac affecté). Dans le cas du test de Chi-Carré, il a servi pour les données qualitatives classées sous forme de catégories (par exemple, présence ou absence d'un lac affecté en amont) (*Kruskal et Wallis, 1952, McHugh, 2013*).

Les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel R (*R Core Team, 2018*) (section 3.3).

Le risque de propagation du myriophylle à épi à l'intérieur d'un lac donné est indépendant de sa présence ou de son absence. Pour cette raison, les lacs n'ont pas été séparés en deux groupes (affectés et non affectés) et comparés par analyse statistique. Le risque de propagation a donc été évalué selon une analyse multicritère détaillée à la section 3.1.2.

3. RÉSULTATS

3.1 Revue de la littérature scientifique

Comme expliqué précédemment, les facteurs retenus de vulnérabilité face au myriophylle à épi ont été divisés en deux catégories, soit ceux qui influencent le risque d'**introduction** du myriophylle à épi et ceux qui contribuent à sa **propagation** à l'intérieur d'un lac. Il s'agit ici des principaux facteurs recensés dans la littérature, auxquels pourraient assurément s'ajouter d'autres facteurs pour une analyse plus précise.

3.1.1 Facteurs liés à **l'introduction** du myriophylle à épi

Cette section considère les facteurs comme **l'accessibilité au lac**, les **mesures préventives** déjà en place, la **fréquentation du lac** et la **proximité géographique** des lacs affectés.

Accessibilité

1-Type et nombre d'accès

Puisque le vecteur humain est la source principale d'introduction du myriophylle à épi, l'accessibilité d'un lac est l'un des facteurs principaux identifiés par de nombreuses études (Tamayo et Olden, 2014b; Nichols, 1994). C'est ainsi que le nombre et le type d'accès ont été identifiés comme décisifs par Buchan et Padilla (2000) et par le *Maine Department of Environmental Protection* dans l'évaluation du risque d'introduction (*Maine Department of Environmental Protection, 2019*). Nous avons donc considéré, dans le cadre de notre analyse, la présence d'accès publics ou d'accès partagés privés. Une distinction a été faite entre les lacs ayant un seul accès public, plusieurs accès publics ou au moins un accès partagé privé (sans égard au nombre, dans ce dernier cas).

2-Réseau routier

L'accessibilité et l'attractivité d'un lac peuvent également être influencées par le réseau routier se trouvant à proximité. Plus celui-ci est développé et comprend des routes importantes, plus le lac sera considéré comme étant facile d'accès par les villégiateurs, qui auront tendance à le visiter davantage (Buchan et Padilla, 2000; Kanankege et al., 2018; *Maine Department of Environmental Protection, 2019*). Dans leur étude, Buchan et Padilla ont observé que 98,5% des lacs affectés par le myriophylle à épi se trouvaient à moins de **2 kilomètres** d'une route importante. Dans le cadre de notre étude, ce critère est plus ou moins applicable dans la mesure où presque tous les lacs se trouvent à proximité d'une route importante. Il ne permet donc pas de départager clairement leur degré de vulnérabilité. Afin de pouvoir attribuer un pointage aux différents lacs pour ce critère, la distance de 1 km a plutôt été utilisée, bien qu'on ignore à quel point la proximité, à l'intérieur du 2 kilomètres, influence la vulnérabilité. C'est pourquoi ce critère n'a qu'un faible poids par rapport aux autres.

Mesures préventives

3-Nettoyage des embarcations

Le déplacement des embarcations entre les différents plans d'eau a été identifié dans plusieurs études comme étant l'un des critères importants de l'introduction des PAEE (Eiswerth *et al.*, 2000; Nichols, 1994; Kanankege *et al.*, 2018; Rothlisberger et Lodge, 2010). Effectivement, des fragments de myriophylle à épi peuvent facilement s'accrocher aux embarcations et à toutes pièces d'équipement nautique. Si l'un d'eux est déposé dans un autre milieu présentant des conditions favorables à sa croissance, ce fragment peut donner naissance à une nouvelle colonie. Le nettoyage des embarcations serait donc une mesure importante afin de réduire le risque d'introduire des PAEE (MFFP, 2018; Seekamp *et al.*, 2016; Roley et Newman, 2008). Depuis l'apparition du myriophylle à épi dans les lacs, plusieurs municipalités, dont Saint-Donat, ont mis en place un règlement pour obliger les usagers à nettoyer leur embarcation. L'absence de telles mesures contribue à la vulnérabilité des lacs face au risque d'introduction des PAEE.

Fréquentation du lac

4-Nombre d'habitations riveraines

Un lac plus fréquenté est certainement plus vulnérable face à l'introduction des PAEE (Nichols, 1994). Toutefois, le nombre d'usagers fréquentant un lac est une donnée difficile à obtenir. Considérant que l'accessibilité du lac influencera le nombre de visiteurs en provenance de « l'extérieur », le nombre d'habitations riveraines pourrait refléter son utilisation par les résidents. Ainsi, un plus grand nombre d'habitations riveraines serait synonyme d'une fréquentation plus élevée et serait associé à un risque d'introduction supérieur (Buchan et Padilla, 2000).

5-Type d'embarcation

Selon plusieurs auteurs, le type d'embarcation autorisé sur un plan d'eau peut avoir une influence sur le risque d'introduction (Madsen 1997; Nichols, 1994, Seekamp *et al.*, 2016; Smith et Barko, 1990). Comme le myriophylle à épi peut facilement s'accrocher aux moteurs, au matériel de navigation, à la remorque des bateaux, etc. (MFFP, 2018), le risque serait plus faible pour un lac où l'utilisation des embarcations motorisées est interdite par un règlement fédéral. De plus, les lacs où les embarcations motorisées à essence sont permises peuvent accueillir une plus grande diversité d'embarcations ce qui contribue à multiplier les sources potentielles d'introduction. Par exemple, les hydravions pourraient constituer un vecteur important, selon nos observations et celles de l'American Owners and Pilots Association (Air Safety Institute, 2016) et de Richard Carignan.

Géographie

6-Proximité de lacs affectés

L'un des éléments identifiés par plusieurs auteurs comme étant décisif par rapport à la vulnérabilité des lacs face à l'introduction d'une espèce envahissante, animale ou végétale, est la proximité d'un lac affecté (Kanankege et al., 2018, *Maine Department of Environmental Protection, 2019*). Selon Roley et Newman (2008), il s'agit du critère principal qui explique l'exposition d'un lac au myriophylle à épi. Selon l'analyse des données de 3446 lacs du Minnesota, ces auteurs ont observé que la distance³ moyenne du lac affecté le plus proche était de **6 kilomètres** pour les lacs affectés, comparativement à 62 km pour les lacs non affectés. En effet, les probabilités que les lacs situés à proximité d'un lac affecté soient visités par les mêmes usagers sont élevées. Par exemple, Buchan et Padilla (1999) ont évalué, à la suite du sondage d'environ 10 000 plaisanciers ayant un bateau et une remorque au Wisconsin, que 85% d'entre eux parcouraient moins de 25 km entre deux lacs visités.

7-Lacs affectés en amont

Dans la même perspective, la présence d'un lac affecté en amont augmente considérablement la probabilité que les deux plans d'eau soient fréquentés par les mêmes usagers. À cela s'ajoute la connectivité naturelle, qui augmente le risque d'introduction. En effet, des fragments de myriophylle à épi peuvent facilement être dispersés par le courant d'une rivière ou d'un ruisseau (Kanankege et al., 2018; Smith et Barko, 1990). D'ailleurs, le *Maine Department of Environmental Protection (2019)* a défini la connectivité avec un lac affecté comme étant le critère le plus important dans l'évaluation de la vulnérabilité des lacs à l'introduction d'une PAEE.

3.1.2 Facteurs liés à la **propagation** du myriophylle à épi

Dans cette section, les facteurs limitant ou favorisant la prolifération de la plante ont été considérés. Ceux-ci peuvent être liés à certaines **propriétés morphométriques et physicochimiques** des lacs, au niveau d'**enrichissement des sédiments** en éléments nutritifs ou à l'**usage** fait par l'humain.

Morphométrie et physicochimie

1-Pourcentage du fond colonisable par les plantes

Un des premiers facteurs qui influencent la distribution des macrophytes submergées est la morphométrie d'un lac. Une zone littorale à forte pente pourra accueillir moins de macrophytes qu'un littoral plat (Greene, 2012). Par ailleurs, plusieurs études ont démontré l'importance de la pénétration lumineuse pour

³ En ligne droite

prédire l'abondance et la distribution des macrophytes submergées. La profondeur et la transparence de l'eau détermineront la quantité de lumière qui atteindra les macrophytes (Denis-Blanchard, 2015).

Ainsi, la superficie du fond colonisable par les plantes est propre à chaque lac et est influencée par la forme de la cuvette et la transparence de l'eau. Il est possible de mettre en relation ces deux facteurs en calculant l'hypsométrie des lacs. Ceci permet notamment d'obtenir le pourcentage du fond du lac colonisable par les plantes aquatiques (Carignan, 2013).

2-Conductivité

Un autre élément identifié par plusieurs auteurs pour son influence sur le succès de prolifération du myriophylle à épi est la conductivité spécifique (Nichols, 1994; June-Wells et al., 2013). La conductivité spécifique est la propriété d'une solution à transmettre le courant électrique à une température de 25 °C et est généralement exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$. Plus la conductivité est élevée, plus l'eau contient de substances minérales dissoutes (principalement sous forme de cations et d'anions majeurs).

Les végétaux ont tous besoin d'une source de carbone inorganique pour la photosynthèse. Celui-ci peut être disponible sous forme de dioxyde de carbone (CO_2) dissous. Toutefois, la majorité des macrophytes, incluant les espèces de myriophylle, ont la capacité de puiser le carbone inorganique des anions bicarbonate (HCO_3^-) et carbonate (CO_3^{2-}) (Smith et Barko, 1990). L'alcalinité d'une eau constitue la mesure la plus directe de la concentration en bicarbonate et carbonate; cependant cette variable est rarement quantifiée dans les programmes de suivi de la qualité des eaux. Cependant, plus la conductivité spécifique est élevée, plus elle indique une quantité en cations et anions élevée, et plus il y a de carbone inorganique disponible pour le développement du myriophylle.

C'est pourquoi la conductivité spécifique a un lien étroit avec le succès de colonisation du myriophylle à épi. D'ailleurs, une étude réalisée au Parc National du Mont-Tremblant (CRE Laurentides et Carignan, 2019) suggère que la mesure de conductivité est déterminante pour établir la vulnérabilité des lacs. Cette relation a été reconnue par plusieurs auteurs. June-Wells et al. (2013) ont étudié l'influence de différentes variables physicochimiques de la colonne d'eau des lacs (alcalinité, pH, conductivité spécifique, concentration en phosphore total) sur la distribution de cinq espèces de plantes aquatiques exotiques réparties dans 92 lacs du Connecticut, dont 39 sont affectés par le myriophylle à épi. Selon eux, parmi les lacs étudiés, ceux qui possèdent une conductivité spécifique supérieure à $159 \mu\text{S}/\text{cm}$ présentent une probabilité supérieure à 50% d'être colonisés par le myriophylle à épi.

Enrichissement des sédiments

3-Nombre d'habitations dans l'unité de drainage sur la superficie du lac

Le myriophylle à épi puise principalement les éléments nutritifs nécessaires à sa croissance, tel le phosphore, des sédiments (Smith et Barko, 1990; Carignan et Kalf, 1980; Madsen, 1997). L'accumulation

d'éléments nutritifs et de sédiments fins engendre des conditions particulièrement propices à la croissance des macrophytes submergées (Denis-Blanchard, 2015).

Il a été démontré que le développement en bordure des lacs augmente la concentration en éléments nutritifs des sédiments. Ainsi, la biomasse et le recouvrement par les macrophytes enracinées augmenteront dans les lacs habités (Greene, 2012). De plus, on note que le **nombre d'habitations dans l'unité de drainage** est corrélé à la biomasse des macrophytes submergés (Denis-Blanchard, 2015). C'est pourquoi ce critère est utilisé et pondéré selon la superficie d'un lac, afin de pouvoir comparer les lacs entre eux.

4-Agriculture non durable

L'agriculture non durable peut être une source considérable d'éléments nutritifs et d'apports en sédiments à un lac, causés par l'épandage d'engrais et l'érosion des sols. La présence d'agriculture dans le bassin versant d'un lac favorisera donc la croissance du myriophylle à épi (Nichols, 1994).

Usage du lac

5-Type d'embarcation

L'activité humaine et le type d'embarcation utilisé peuvent non seulement avoir un impact sur le risque d'introduction d'une plante envahissante, mais aussi sur sa propagation. La présence d'embarcations à moteur favorise la fragmentation du myriophylle à épi et la dispersion des fragments dans un lac (Nichols, 1994; Buchan et Padilla, 2000). Le comportement des utilisateurs et leur niveau de sensibilisation face à la problématique des PAEE deviennent donc des éléments importants pour limiter la propagation.

3.2 Compilation des données pour les lacs des Laurentides

3.2.1 Choix des lacs

Dans le cadre de cette étude, le choix des lacs s'est fait en fonction de la disponibilité des données pour chaque critère. Pour le volet « introduction » du myriophylle à épi, les critères ont été associés à **38 lacs affectés** par le myriophylle à épi situés sur le territoire des Laurentides et à **41 lacs non affectés**, dont 25 sont localisés à Saint-Adolphe-d'Howard et 16 à Saint-Donat.

Pour l'analyse du risque de propagation, les critères ont été associés à **21 lacs non affectés**, dont 11 sont localisés à Saint-Adolphe-d'Howard et 10 à Saint-Donat, ainsi qu'à **24 lacs affectés** par le myriophylle à épi, situés dans les Laurentides.

Les lacs affectés sont répertoriés dans l'outil Sentinelles du Ministère (Figure 3; MELCC, 2019).

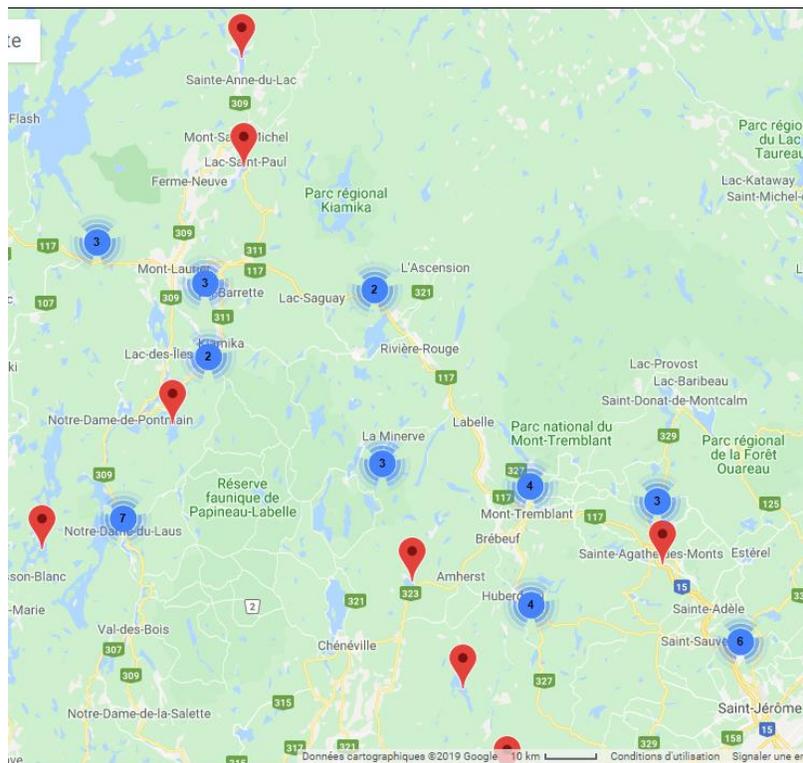


Figure 3. Localisation approximative des 44 signalements de myriophylle à épi dans les Laurentides, selon l'outil Sentinelles du MELCC

3.2.2 Sources des données

Cette section présente les différents outils et moyens utilisés afin de recueillir les données propres à chacun des critères évalués.

Les **types** et le **nombre des accès** ont été répertoriés avec la carte du site « Allons Pêcher » de la Fédération québécoise des chasseurs et pêcheurs (Fédération québécoise des chasseurs et pêcheurs, 2019) et grâce aux observations des agents du CRE Laurentides dans le cadre du projet de « Lutte contre le myriophylle à épi dans les plans d'eau des Laurentides » de 2017 à 2020.

La présence d'employés du CRE Laurentides dans les municipalités de Saint-Adolphe-d'Howard et de Saint-Donat a également permis de valider les méthodes de **nettoyage des embarcations**. Pour les lacs affectés, l'information recueillie depuis des années par le CRE Laurentides, notamment en 2019 dans le cadre du projet de lutte contre le myriophylle à épi où toutes les stations de lavage de la région ont été visitées, ainsi que des recherches sur les sites web des municipalités ont permis de compléter l'information à ce sujet.

Pour ce qui est du **type d'embarcation** autorisé sur les plans d'eau, la réglementation fédérale sur les restrictions visant l'utilisation des bâtiments de la Loi sur la marine marchande du Canada a été consultée (Transport Canada, 2019). Pour la fréquentation des lacs par les hydravions, la présence ou l'absence de ceux-ci a été déterminée en consultant les images des lacs étudiés disponibles dans Google Earth de 2011 à 2019 (Google Earth, 2020).

Les données géographiques, comme la présence d'une **autoroute ou route** nationale ou régionale dans un rayon d'un kilomètre, la **distance⁴ du lac affecté** le plus près, la présence de **lacs affectés en amont**, le **nombre d'habitations** riveraines et dans l'unité de drainage et la présence d'**agriculture** dans le bassin versant, ont été calculées ou validées avec le logiciel géomatique QGIS (QGIS, 2019), en utilisant différentes sources de données des gouvernements du Québec (Base de données topographiques du Québec, Atlas géomatique, Adresses Québec) et du Canada (CanVec, Géogratix).

Ensuite, les fiches hypsométriques produites par Richard Carignan en 2013 et le CRE Laurentides en 2019 ont permis d'obtenir le **pourcentage de la superficie du fond des lacs colonisable par les macrophytes** (Carignan R. et CRE Laurentides, 2013-2019). Ces fiches ont été produites en utilisant l'information morphométrique obtenue grâce aux cartes bathymétriques, combinée aux données de transparence du Réseau de surveillance volontaire des lacs (MELCC, 2019a). La superficie des lacs provient également des cartes bathymétriques réalisées par le CRE Laurentides et Richard Carignan de 2010 à 2019 (Carignan R. et CRE Laurentides, 2010-2019).

⁴ En ligne droite

La **conductivité** spécifique des plans d'eau résulte des suivis réalisés à l'aide d'une multisonde (CRE Laurentides 2005-2019; Carignan R. 2019; Municipalité de Saint-Donat, 2019a). Seules les données obtenues à un mètre de la surface de l'eau ont été considérées dans l'analyse (CRE Laurentides et Carignan, R. 2019).

3.3 Tests statistiques

Les tests statistiques, réalisés dans l'analyse de la vulnérabilité face à l'introduction du myriophylle à épi, ont confirmé que les critères suivants démontraient des différences significatives ($p\text{-value} < 0,05$) entre les groupes de lacs où le myriophylle était présent et les lacs non affectés: le type d'accès, le type d'embarcation, la présence d'un lac affecté en amont, le nombre d'habitations riveraines et la distance d'un lac affecté. La différence est plus significative en ce qui a trait **au nombre d'habitations riveraines** et à la **distance d'un lac affecté** (Tableau I). La présence de **mesures de nettoyage** n'a pas été considérée ici puisque l'invasion du myriophylle à épi dans les Laurentides est antérieure à la mise en place de ces mesures.

Des détails sur la distribution des lacs selon les différents critères, sont présentés à l'annexe 1.

Tableau I. Résultats des tests de comparaison Kruskal-Wallis et Chi-carré entre les lacs affectés et non affectés pour les variables d'introduction

VARIABLE	TEST	P-VALUE*	SIGNIFICATIVITÉ
Type d'accès	Chi-carré	0,00257	Significatif
Proximité d'une route importante	Chi-carré	0,233	Non-significatif
Type d'embarcation	Chi-carré	0,00853	Significatif
Lac affecté en amont	Chi-carré	0,00192	Significatif
Habitations riveraines	Kruskal-Wallis	0,0000337	Hautement significatif
Distance d'un lac affecté	Kruskal-Wallis	0,00000302	Hautement significatif

*Une « $p\text{-value}$ » inférieure à 0,05 signifie une différence significative entre les deux groupes. Plus cette valeur est faible, plus la significativité est importante.

3.4 Analyse multicritère

3.4.1 Vulnérabilité des lacs face à l'introduction du myriophylle à épi

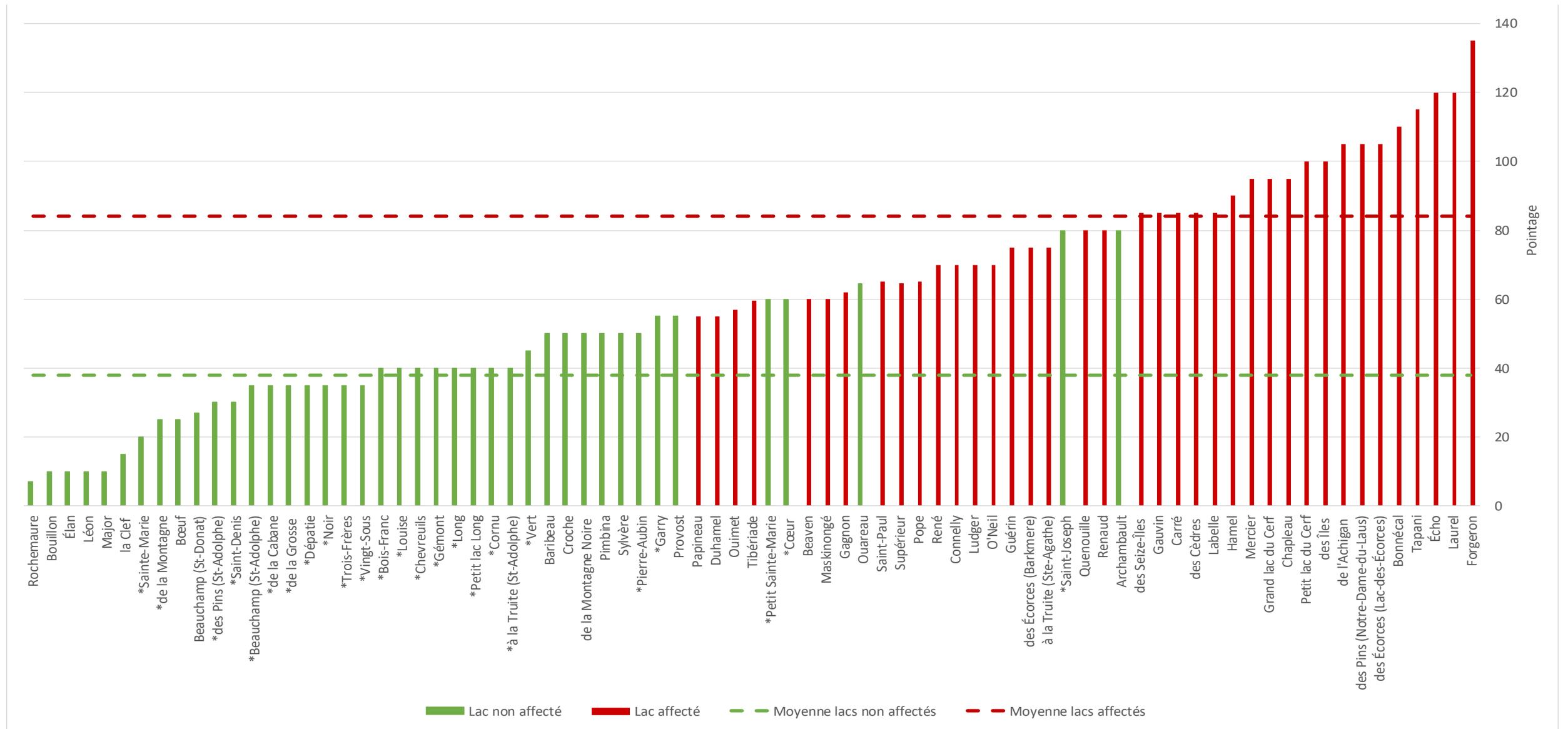
Le tableau ci-dessous présente la liste des critères retenus pour l'analyse de vulnérabilité face à l'introduction (Tableau II) du myriophylle à épi, ainsi que les pointages qui leur ont été attribués.

Tableau II. Critères pour la vulnérabilité à l'introduction du myriophylle à épi et pointage associé

CRITÈRE D'INTRODUCTION	ABRÉVIATION	CATÉGORIE DE DONNÉES	POINTAGE
Accessibilité			
Type et nombre d'accès	T_ACC	Aucun accès	0
		Accès privé partagé (plage asso., etc.)	10
		Accès public (1)	30
		Plus d'un accès public	40
Réseau routier à proximité (présence d'une autoroute ou route nationale/régionale dans un rayon de 1 km)	AUTOR	Aucune	0
		Route nationale/régionale	5
		Autoroute	10
Nettoyage des embarcations	NETT	Lavage + nettoyage du matériel + sensibilisation ⁵	0
		Lavage obligatoire des embarcations	5
		Aucune mesure	25
Fréquentation du lac			
Nombre d'habitations riveraines	HAB_RIV	Faible (0-30)	0
		Modéré (31-100)	5
		Élevé (101 et plus)	10
Type d'embarcation	T_EMB	Non motorisées	0
		Motorisées (électrique)	2
		Motorisées (essence)	5
		Motorisées (essence) + hydravion	15
Géographie			
Distance des lacs affectés	LAC_AD	Plus de 12 km	0
		6-12 km	15
		0-6 km	30
Lac affectés en amont	LAC_AA	Non	0
		Oui, dans le bassin versant	20
		Oui directement	40
TOTAL			170

Les pointages obtenus pour les 38 lacs affectés par le myriophylle à épi et les 41 lacs non affectés sont présentés à la figure 4 et l'annexe 2. À noter que les lacs Sainte-Marie et Saint-Joseph obtiennent des résultats de vulnérabilité fort différents quant au risque d'introduction du myriophylle à épi. Les résultats varient notamment à cause du nombre d'accès dont ils disposent. Toutefois, dans la mesure où ces deux lacs communiquent entre eux avec un chenal assez important pour que des embarcations puissent passer de l'un à l'autre, la vulnérabilité du lac Sainte-Marie devrait être considérée comme étant nettement plus grande, se rapprochant davantage de celle du lac Saint-Joseph.

⁵ Aucun lac n'a obtenu le pointage de 0 pour le critère lié au nettoyage des embarcations dû au manque d'information sur les pratiques municipales en la matière, le niveau de sensibilisation effectué, la formation des employés, etc. Un sondage réalisé par le CRE en 2020 permettra de bonifier l'information acquise lors de la tournée de sensibilisation en 2019. Ces résultats pourraient être intégrés à une future analyse.



* Lacs de Saint-Adolphe-d'Howard

Figure 4. Vulnérabilité des lacs analysés face à l'introduction du myriophylle à épi (n=79)⁶

⁶ Voir la note en page 16 pour la vulnérabilité du lac Sainte-Marie.

Globalement, des différences ont été observées entre les valeurs moyennes, médianes, maximales et minimales pour les deux groupes de lacs (Figure 4; Tableau III). Plus précisément, les variations sont de l'ordre de 124% et 137% pour les valeurs moyennes et médianes. Cela signifie qu'en moyenne, les lacs affectés ont un pointage plus élevé de 124% par rapport aux lacs non affectés.

Tableau III. Valeurs moyennes, médianes, maximales et minimales des pointages obtenus pour les critères d'introduction des lacs affectés et non affectés

INTRODUCTION	VULNÉRABILITÉ	
Groupe de lacs	Moyenne	Médiane
Saint-Adolphe-d'Howard (n=25)	40	35
Saint-Donat (n=16)	35	39
Total non affectés (SA+SD) (n=41)	38	35
Affectés (n=38)	85	83
Variation (Affectés vs non affectés)	124%	137%

Ensuite, les lacs ont été classés en trois catégories de vulnérabilité (peu vulnérable, vulnérable et très vulnérable) selon les pointages obtenus et en utilisant la **méthode de classification par quantile** (Annexe 2; Tableaux III et IV). Cette méthode suggère une division permettant d'avoir le même nombre d'observations (de lacs dans notre cas) dans chacune des catégories (Esri, 2019). Il importe de noter que ceci indique le niveau de vulnérabilité des lacs les uns par rapport aux autres à l'intérieur de l'échantillon étudié.

Tableau IV. Nombre de lacs peu vulnérables, vulnérables et très vulnérables à l'introduction du myriophylle à épi par catégorie

Degré de vulnérabilité	Peu vulnérable (0-40 points)	Vulnérable (41-70 points)	Très vulnérable (71-170 points)
Catégorie	Nombre de lacs		
Lacs non affectés de Saint-Donat (n=16)	8	7	1
Lacs non affectés de Saint-Adolphe-d'Howard (n=25)	19	5	1
Lacs affectés (n=38)	0	13	25
	27	25	27

Selon cette classification, 14 lacs non affectés seraient vulnérables ou très vulnérables à l'introduction du myriophylle à épi. Six d'entre eux se trouvent à Saint-Adolphe-d'Howard, soient les lacs **Vert, Pierre-Aubin, Garry, Petit Sainte-Marie, Cœur** et **Saint-Joseph**, ce qui représente le quart des 25 lacs analysés. En tenant compte de la méthodologie utilisée et de l'échantillon étudié, seul le lac **Saint-Joseph** de Saint-Adolphe-d'Howard se trouve dans la catégorie des lacs très vulnérables à l'introduction (Tableau V et Figure 5)⁷.

⁷ Voir la note en page 16 pour la vulnérabilité du lac Sainte-Marie.

Tableau V. Lacs vulnérables et très vulnérables à l'introduction du myriophylle à épi

Lac	Municipalité	Pointage
Vert	Saint-Adolphe-d'Howard	45
Pierre-Aubin	Saint-Adolphe-d'Howard	50
Garry	Saint-Adolphe-d'Howard	55
Petit Sainte-Marie	Saint-Adolphe-d'Howard	60
Cœur	Saint-Adolphe-d'Howard	60
Saint-Joseph	Saint-Adolphe-d'Howard	80

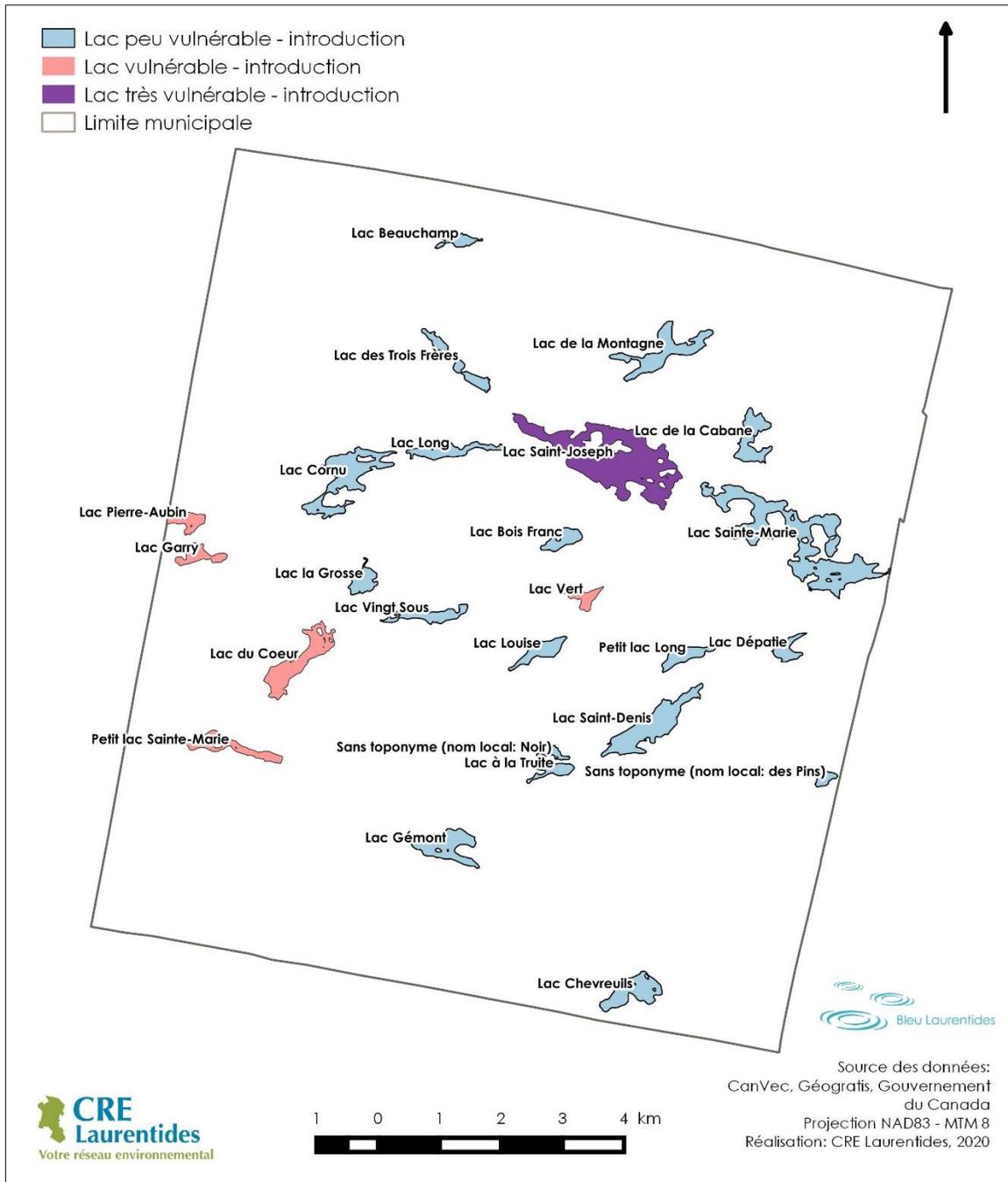


Figure 5. Vulnérabilité des lacs analysés de Saint-Adolphe-d'Howard face à l'introduction du myriophylle à épi

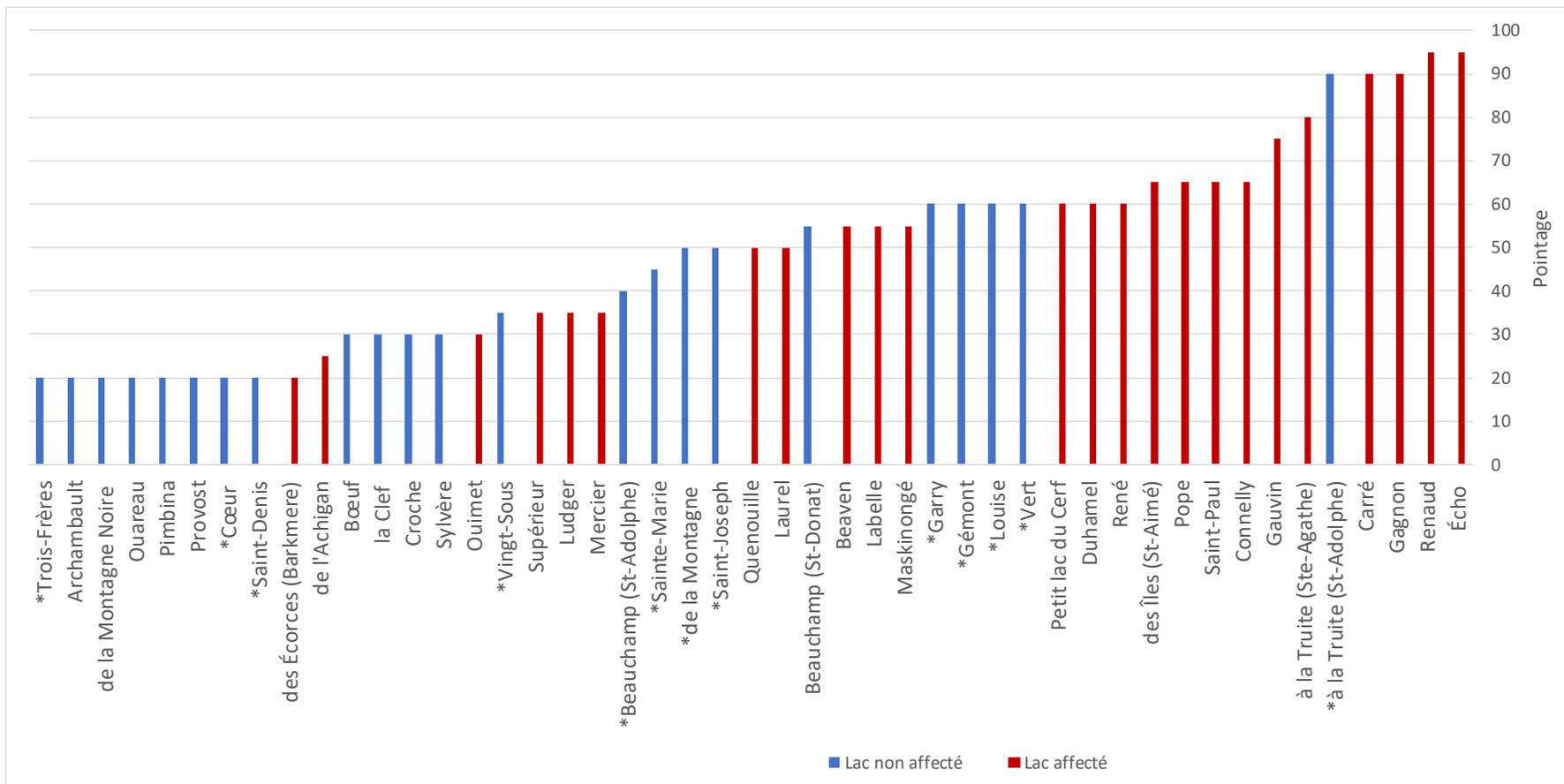
3.4.2 Vulnérabilité des lacs face à la **propagation** du myriophylle à épi

Le tableau ci-dessous présente la liste des critères retenus pour l'analyse de vulnérabilité face à la propagation (Tableau VI) du myriophylle à épi, ainsi que le pointage qui leur est attribué.

Tableau VI. Critères pour la vulnérabilité à la propagation du myriophylle à épi et pointages associés

CRITÈRE DE PROPAGATION	ABRÉVIATION	CATÉGORIE DE DONNÉES	POINTAGE
Morphométrie et physicochimie			
Pourcentage du fond du lac colonisable par les plantes	FOND_COLO	0-25	0
		26-50	10
		51-75	20
		76 et plus	40
Conductivité (µS/cm)	COND	0-40	0
		41-158	15
		159 et plus	30
Enrichissement des sédiments			
Ratio du nombre d'habitations dans l'unité de drainage par rapport à la superficie du lac (Nbr hab. UD/sup. du lac)	HAB_SUP	0 à 399	0
		400 à 999	15
		1000 et plus	30
Agriculture (présence d'agriculture dans le BV)	AGRI	Non	0
		Oui	30
Usages du lac			
Type d'embarcation	U_EMB	Non motorisées	0
		Motorisées (électrique)	5
		Motorisées (essence)	10
TOTAL			140

Pour ce volet de l'analyse, l'échantillon a dû être réduit compte tenu de l'absence de données pour certains lacs. Ainsi, l'information a été compilée pour **11 lacs** de Saint-Adolphe-d'Howard, **10 lacs** de Saint-Donat et **24 lacs** affectés par le myriophylle à épi dans les Laurentides. Les résultats sont présentés à la figure 6 et à l'annexe 3.



* Lacs de Saint-Adolphe-d'Howard

Figure 6. Vulnérabilité des lacs analysés face à la propagation du myriophylle à épi (n=45)

Les résultats de l'analyse multicritère semblent assez bien refléter le niveau de propagation des lacs affectés. En effet, les lacs ayant obtenu le pointage le plus élevé sont ceux qui, à notre connaissance, sont fortement colonisés par le myriophylle à épi soit dans l'ordre, les lacs : Gagnon à Val-des-Lacs, Renaud à Prévost, Carré à Saint-Faustin-Lac-Carré, Connelly à Saint-Hippolyte et à la Truite à Sainte-Agathe-des-Monts.

Le lac René à Prévost fait également partie de la liste, bien qu'il ne soit pas encore très colonisé. Cela peut s'expliquer par le fait que le myriophylle à épi y aurait été introduit très récemment (Carignan R., 2019a). Au lac Écho de Saint-Hippolyte, d'autres facteurs pourraient expliquer le faible degré de propagation, dont la compétition par les espèces indigènes et les activités motorisées qui rendent les sédiments instables (Carignan R., 2018).

Enfin, le lac obtenant le pointage le plus faible est le lac des Écorces à Barkmere. Selon certaines sources, il s'agit d'un lac où l'arrachage du myriophylle à épi à l'aide de plongeurs expérimentés et formés a donné des résultats concluants probablement en raison de ses propriétés chimiques peu favorables à sa propagation.

Ces résultats ont permis l'établissement de classes de vulnérabilité à la propagation, selon la méthode expliquée précédemment (Tableau VII) :

Tableau VII. Nombre de lacs peu vulnérables, vulnérables et très vulnérables à la propagation du myriophylle à épi par catégorie

Degré de vulnérabilité	Peu vulnérable (0-30 points)	Vulnérable (31-59 points)	Très vulnérable (60-140 points)
Catégorie	Nombre de lacs		
Lacs non affectés de Saint-Donat (n=10)	9	1	0
Lacs non affectés de Saint-Adolphe-d'Howard (n=11)	2	4	5
Lacs affectés (n=24)	3	8	13
	14	13	18

Selon cette analyse, parmi les lacs non affectés, cinq seraient considérés vulnérables et cinq très vulnérables à la propagation du myriophylle à épi dans le cas où celui-ci serait introduit. Neuf d'entre eux se trouvent à Saint-Adolphe-d'Howard, ce qui représente 82% des 11 lacs analysés pour ce volet. Ainsi, les lacs **Vingt-Sous, Sainte-Marie, de la Montagne** et **Saint-Joseph** seraient vulnérables. Les lacs **Gémont, Louise, Garry, Vert** et **à la Truite** seraient très vulnérables face à la propagation du myriophylle à épi (Tableau VIII; Figure 7; Annexe 3).

À noter qu'il serait intéressant de compléter l'information pour les 14 autres lacs considérés dans l'analyse de vulnérabilité face à l'introduction qui n'ont pu être étudiés ici. De plus, l'évaluation du recouvrement par le myriophylle à épi, à l'aide d'un échosondeur, aurait permis de préciser ces résultats et d'effectuer des tests statistiques afin de confirmer la pertinence et le poids de chacun des critères dans l'évaluation de la vulnérabilité à la propagation.

Tableau VIII. Lacs vulnérables et très vulnérables à la propagation du myriophylle à épi

Lac	Municipalité	Pointage
Vingt-Sous	Saint-Adolphe-d'Howard	35
Sainte-Marie	Saint-Adolphe-d'Howard	45
Montagne (de la)	Saint-Adolphe-d'Howard	50
Saint-Joseph	Saint-Adolphe-d'Howard	50
Gémont	Saint-Adolphe-d'Howard	60
Louise	Saint-Adolphe-d'Howard	60
Garry	Saint-Adolphe-d'Howard	60
Vert	Saint-Adolphe-d'Howard	60
Truite (à la)	Saint-Adolphe-d'Howard	95

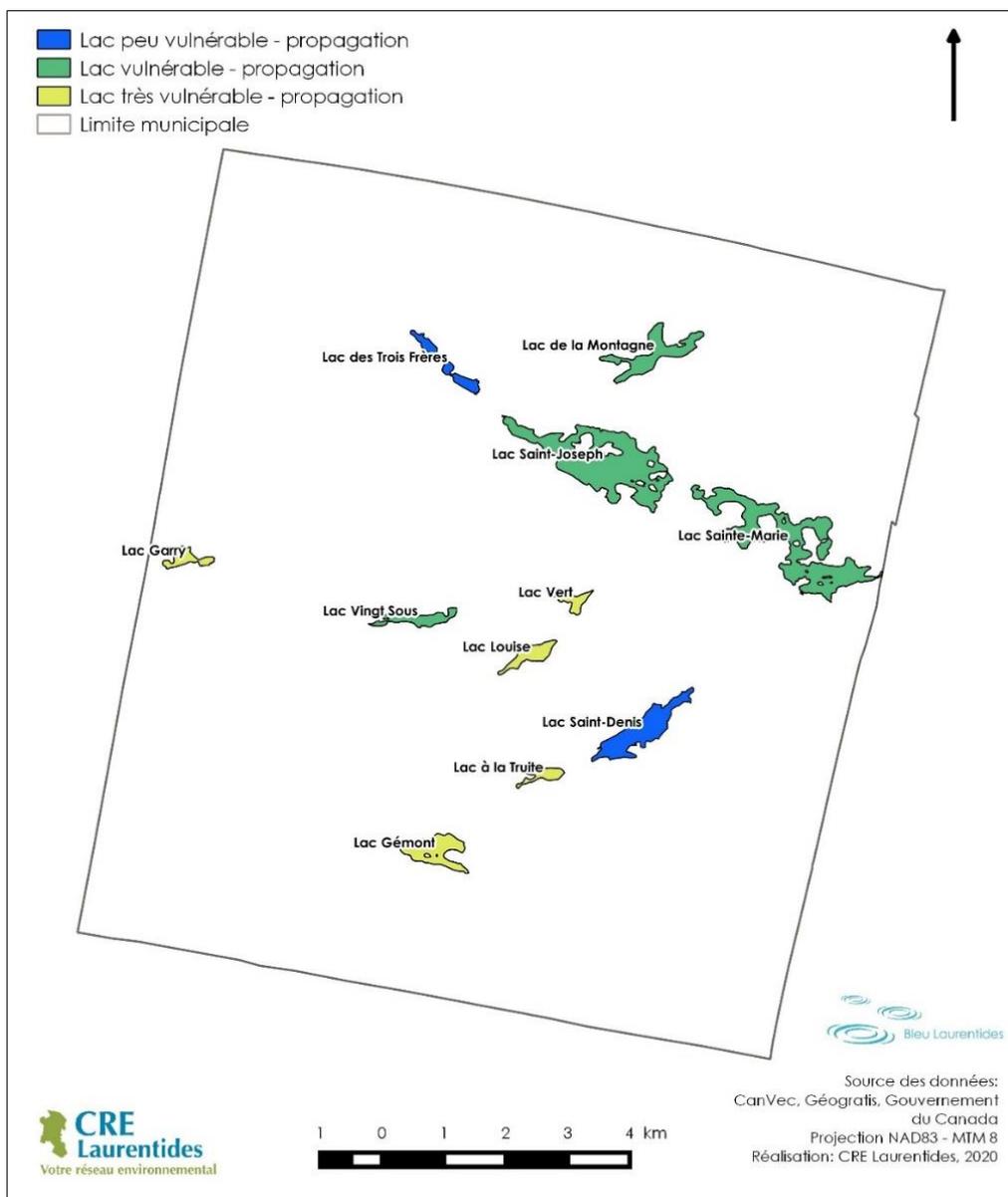


Figure 7. Vulnérabilité des lacs de Saint-Adolphe-d'Howard face à la propagation du myriophylle à épi

3.4.3 Récapitulatif des résultats

Le tableau IX expose l'ensemble des résultats obtenus autant pour la vulnérabilité à l'introduction que celle à la propagation du myriophylle à épi. On y trouve le niveau de vulnérabilité (peu vulnérable, vulnérable ou très vulnérable) pour chacun des lacs et des volets analysés.

Tableau IX. Degré de vulnérabilité des lacs de Saint-Adolphe-d'Howard à l'introduction et à la propagation du myriophylle à épi obtenus en fonction des critères étudiés

LAC	VULNÉRABILITÉ À L'INTRODUCTION	VULNÉRABILITÉ À LA PROPAGATION
Beauchamp	peu vulnérable	N/D
Bois Franc	peu vulnérable	N/D
Cabane (de la)	peu vulnérable	N/D
Chevreuls	peu vulnérable	N/D
Cœur (du)	vulnérable	N/D
Cornu	peu vulnérable	N/D
Dépatie	peu vulnérable	N/D
Garry	vulnérable	très vulnérable
Gémont	peu vulnérable	très vulnérable
Grosse (la)	peu vulnérable	N/D
Long	peu vulnérable	N/D
Louise	peu vulnérable	très vulnérable
Montagne (de la)	peu vulnérable	vulnérable
Noir	peu vulnérable	N/D
Petit lac Long	peu vulnérable	N/D
Petit Sainte-Marie	vulnérable	N/D
Pierre-Aubin	vulnérable	N/D
Pins (des)	peu vulnérable	N/D
Saint-Denis	peu vulnérable	peu vulnérable
Sainte-Marie*	peu vulnérable	vulnérable
Saint-Joseph	très vulnérable	vulnérable
Trois-Frères (des)	peu vulnérable	peu vulnérable
Truite (à la)	peu vulnérable	très vulnérable
Vert	vulnérable	très vulnérable
Vingt Sous	peu vulnérable	vulnérable

N/D : non disponible. Ces lacs n'ont pas été analysés pour la vulnérabilité à la propagation.

* Dans la réalité, la vulnérabilité du lac Sainte-Marie s'apparente davantage à celle du lac Saint-Joseph que ce qu'indiquent les résultats de l'analyse.

4. DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS

L'analyse des résultats nous permet de dresser les constats suivants :

TESTS STATISTIQUES

- Les **tests statistiques** confirment que des différences significatives sont observées entre les lacs affectés et non affectés par le myriophylle à épi, pour les critères d'introduction suivants : le type d'accès, le type d'embarcation, la présence d'un lac affecté en amont, le nombre d'habitations riveraines et la distance d'un lac affecté ;
- Ces résultats sont hautement significatifs pour le nombre d'habitations riveraines et la distance d'un lac affecté.

ANALYSE MULTICRITÈRE

Sur la base des critères retenus pour la vulnérabilité face à l'**introduction** du myriophylle à épi:

- ✓ Des différences de l'ordre de 124 % ont été obtenues, en comparant les pointages moyens des groupes de lacs affectés et non affectés par le myriophylle épi ;
- ✓ 100% des 38 lacs affectés analysés ont été classés comme étant vulnérables ou très vulnérables (25 lacs très vulnérables; 13 lacs vulnérables);
- ✓ 34% des 41 lacs non affectés analysés ont été classés comme étant vulnérables ou très vulnérables (2 lacs très vulnérables; 12 lacs vulnérables, 27 lacs peu vulnérables);
- ✓ Des 14 lacs non affectés évalués comme vulnérables ou très vulnérables, **six se trouvent à Saint-Adolphe-d'Howard**, bien qu'un septième, soit le lac Sainte-Marie, devrait faire partie du groupe⁸. Ceci représente 24% des 25 lacs de cette municipalité :
 - Vulnérables : **Vert, Pierre-Aubin, Petit lac Sainte-Marie** et **Cœur**;
 - Très vulnérable : **Saint-Joseph**.

Sur la base des critères retenus pour la vulnérabilité face à la **propagation** du myriophylle à épi:

- ✓ 88% des 24 lacs affectés analysés ont été classés comme étant vulnérables (8) ou très vulnérables (13) ; 3 lacs seraient peu vulnérables;
- ✓ 48% des 21 lacs non affectés analysés ont été classés comme étant vulnérables (5) ou très vulnérables (5) ; 11 lacs seraient peu vulnérables;

⁸ Voir la note en page 16 pour la vulnérabilité du lac Sainte-Marie.

- ✓ Des 10 lacs non affectés évalués comme vulnérables ou très vulnérables, neuf se trouvent à Saint-Adolphe-d'Howard. Ceci représente 82% des 11 lacs de cette municipalité considérés pour ce volet de l'analyse:
 - Vulnérables : **Vingt-Sous, Sainte-Marie, de la Montagne et Saint-Joseph;**
 - Très vulnérables : **Gémont, Louise, Garry, Vert et à la Truite.**

Des mesures préventives plus soutenues devraient être adoptées aux lacs identifiés comme étant vulnérables face à l'introduction du myriophylle à épi. Cela pourrait se traduire par une surveillance accrue des accès publics ou partagés, pour s'assurer que les réglementations en lien avec le nettoyage des embarcations sont respectées scrupuleusement. Ce faisant, il serait primordial de sensibiliser les usagers à la problématique des PAEE, plus particulièrement à celle du myriophylle à épi. Différents outils d'information et de sensibilisation pourraient être utilisés (dépliant, guide d'information, autocollant, publication web, affichage, etc.).

Par ailleurs, il est important de souligner que même si certains lacs sont considérés moins vulnérables, il suffit d'un seul évènement pour introduire la plante. Ainsi, bien que les efforts puissent être concentrés sur les lacs plus vulnérables, aucun ne devrait être négligé. Également, un lac identifié comme étant très vulnérable à l'introduction ne sera pas nécessairement affecté dans un avenir plus ou moins rapproché. À cet effet, il est essentiel de poursuivre les stratégies globales adoptées à Saint-Adolphe-d'Howard, en termes de réglementation et de sensibilisation.

La vulnérabilité à la propagation de neuf lacs de Saint-Adolphe-d'Howard peut être reliée à plusieurs facteurs. Notamment, ces lacs sont généralement de petites tailles et peu profonds, ce qui les rend naturellement propices à la colonisation par les plantes aquatiques. Puis, l'occupation humaine en bordure de ceux-ci est importante, ce qui peut contribuer à augmenter leur conductivité spécifique et à enrichir les sédiments littoraux en éléments nutritifs. Encore une fois, la sensibilisation auprès des citoyens sur les bonnes pratiques à adopter afin de minimiser l'apport en sédiments, éléments nutritifs et sels déglaçants vers les plans d'eau est importante.

Le lac Saint-Joseph est vulnérable à la fois face à l'introduction et à la propagation du myriophylle à épi. Ainsi, dans l'éventualité où la plante y serait introduite, les dommages causés pourraient être importants, non seulement pour ce lac, mais aussi pour les lacs Sainte-Marie et Théodore⁹, accessibles en bateau depuis Saint-Joseph. C'est pourquoi, des patrouilles devraient être effectuées de façon régulière afin de détecter le myriophylle à épi le plus tôt possible s'il venait à s'installer. Les mesures de prévention et de sensibilisation doivent également être maintenues et renforcées.

⁹ Le lac Théodore est situé à Val-Morin.

5. LIMITES DE L'ÉTUDE

Finalement, les constats soulevés dans ce rapport sont basés sur l'analyse de critères pour lesquels une validation scientifique est actuellement disponible dans la littérature. Ceux-ci ne prétendent pas être exhaustifs. De plus, ils ont été associés à des territoires bien précis. Par ailleurs, l'analyse tient compte uniquement de la vulnérabilité à l'introduction et à la propagation, sans égard à l'impact social qui peut en résulter. Par exemple, la propagation du myriophylle n'occasionne pas les mêmes conséquences sociales si les zones pouvant être recouvertes se trouvent dans un secteur habité ou non. Une analyse qualitative pourrait donc compléter cette étude.

Il s'agit donc d'une première analyse qui pourrait être bonifiée dans le futur, notamment en se basant sur les recommandations suivantes :

Augmenter le nombre de lacs analysés

- ✓ De manière générale, il serait assez simple d'augmenter considérablement le nombre de lacs analysés par l'acquisition de quelques données supplémentaires. En effet, plusieurs lacs ont dû être exclus alors que seule l'une des variables était manquante (bien souvent la conductivité ou l'hypsométrie).

Élargir l'échelle considérée pour les lacs non affectés

- ✓ La présente analyse s'est limitée aux territoires des municipalités de Saint-Adolphe-d'Howard et de Saint-Donat, pour les lacs non affectés par le myriophylle à épi. Il serait donc intéressant d'étendre la sélection des lacs non affectés à la région des Laurentides.

Inclure d'autres critères à l'analyse

- ✓ Les données sur l'achalandage des accès fréquentés (nombre et type d'embarcations) pourraient contribuer à préciser l'analyse, puisque cet élément a été identifié dans le cadre de plusieurs études (Nichols, 1994; Buchan et Padilla, 2000). Ce type d'information pourrait notamment être recueilli aux stations de nettoyage des embarcations. Il faudrait toutefois envisager d'autres méthodes, entre autres pour recueillir des données là où il n'y a pas de station de lavage ;
- ✓ Les pratiques de nettoyage des embarcations pourraient également être mieux documentées afin de préciser les catégories et inclure certains détails liés à la procédure utilisée, la formation des employés, les types d'embarcation pour lesquels un règlement s'applique, l'équipement et le matériel nettoyé et la sensibilisation des usagers (distribution d'outils et affichage). Les aspects qui influencent la fréquentation des stations de nettoyage pourraient également être considérés (accessibilité, coûts, etc.) ;

- ✓ Une étude sur les comportements des usagers (lavage, navigation, accès de leur rive, etc.) pourrait également nous fournir d'autres informations à considérer; des gens sensibles et bien au fait des enjeux face aux PAEE adoptent des comportements différents ;
- ✓ La présence d'établissements commerciaux, de villégiature et de tourisme constitue un facteur augmentant la présence humaine sur un lac et donc le risque d'introduction et de propagation du myriophylle à épi (Kanankege et al., 2018). De plus, la location à court terme des résidences riveraines serait sans doute un élément à considérer dans une prochaine étude ;
- ✓ L'acquisition de données précises du recouvrement par le myriophylle à épi par échosondage sur un grand nombre de lacs permettrait, entre autres, de mener des tests statistiques et de valider le choix et le poids des critères considérés dans le cadre de l'analyse en lien avec sa propagation ;
- ✓ La connaissance de l'année d'infestation, ainsi qu'une amélioration de notre compréhension de la dynamique d'invasion du myriophylle à épi et notamment, des mécanismes responsables de son déclin naturel dans les lacs pourrait certainement contribuer à alimenter la réflexion concernant la vulnérabilité des lacs à la propagation de la plante ;
- ✓ D'autres facteurs biologiques peuvent potentiellement ralentir la prolifération des PAEE, comme la diversité des plantes aquatiques indigènes et la présence d'espèces compétitrices (Carignan R., 2017). Par exemple, la Vallisnérie d'Amérique (*Vallisneria americana*) et le Potamot de Robbins (*Potamogeton robbinsii*) sont deux espèces ayant la capacité de survivre même sous une canopée de myriophylle à épi (Coffey et McNabb, 1974; Boylen et al., 1999). Ces critères, bien que documentés, n'ont pu être considérés dans le cadre de l'analyse car les données étaient inexistantes pour un grand nombre de lacs de la région ;
- ✓ Dans une prochaine étude, il serait pertinent de considérer la connectivité des lacs et la possibilité de circuler en embarcation de part et d'autre, dans l'évaluation de la vulnérabilité face à l'introduction du myriophylle à épi.

6. RÉFÉRENCES

- Air Safety Institute (2016). **How to Stop the Spread of Invasive Plants and Animals by Seaplane**. En ligne [<https://www.youtube.com/watch?v=fuVd0oBRwuE>] Consulté en décembre 2019.
- Boylen, C. W., Eichler, L. W. et J. D. Madsen (1999). **Loss of native aquatic plant species in a community dominated by Eurasian watermilfoil**. *Hydrobiologia*, 415: 207-211.
- Buchan, L.A.J., et D. Padilla (2000). **Predicting the likelihood of Eurasian watermilfoil presence in lakes, a macrophyte monitoring tool**. *Ecological Applications*, 10(5):1442-1455.
- Buchan, L.A.J., et D. Padilla (1999). **Estimating the probability of long-distance overland dispersal of invading aquatic species**. *Ecological Applications*, 9(1):254-265.
- Carignan, R. et J. Kalf (1980). **Phosphorus sources for aquatic weeds: water or sediments?** *Science*, 207: 987-989.
- Carignan, R. (2019). *Communication personnelle*.
- Carignan R. (2019a). **Situation du myriophylle à épi au lac René (Ville de Prévost) et perspective de contrôle**, 1 p.
- Carignan R. (2018). **Évolution 2002-2018 de l'état de santé des lacs de Saint-Hippolyte et cartographie des macrophytes**. En ligne [<https://saint-hippolyte.ca/wp-content/uploads/2019/03/Saint-Hippolyte-2018.pdf>] 145 p.
- Carignan R. (2017). **Le myriophylle à épi et les autres plantes aquatiques du lac Quenouille**, En ligne [<http://lacquenouille.ca/documents/MAE-EWM/MAE-Report-Carignan-2017.pdf>] 31 p.
- Carignan, R. et CRE Laurentides (2013). **Définition de l'hypsométrie**. Disponible dans l'Atlas web des lacs des Laurentides. En ligne [http://crelaurentides.org/images/images_site/documents/atlas/Hypsometrie/definitionhypsometrie.pdf] Consulté en décembre 2019
- Carignan R. et CRE Laurentides (2010-2019). **Cartes bathymétriques des lacs**. Disponibles dans l'Atlas web des lacs des Laurentides. En ligne [<https://crelaurentides.org/dossiers/eau-lacs/atlasdeslacs>] Consulté en décembre 2019
- Carignan, R. et CRE Laurentides (2013-2019). **Fiches hypsométriques des lacs**. Disponibles dans l'Atlas web des lacs des Laurentides. En ligne [<https://crelaurentides.org/dossiers/eau-lacs/atlasdeslacs>] Consulté en décembre 2019
- Coffey, B. T. et C. D. McNabb (1974). **Eurasian watermilfoil in Michigan**. *Mich. Bot.* 13: 159-165.
- Conseil régional de l'environnement des Laurentides (CRE Laurentides) (2005-2019). **Rapport et fiches de résultats du suivi complémentaire de la qualité de l'eau de Bleu Laurentides**. Compilation des données de près de 500 suivis à l'aide de la multisonde, publiées dans 218 fiches et rapports, disponibles dans l'Atlas web des lacs des Laurentides. En ligne [<https://crelaurentides.org/dossiers/eau-lacs/atlasdeslacs>] Consulté en août 2019.
- Conseil régional de l'environnement des Laurentides (CRE Laurentides) (2016). **Le myriophylle à épi : Petit guide pour ne pas être envahi**. En ligne [<http://www.crelaurentides.org/documents>] Consulté en 2019.
- Conseil régional de l'environnement des Laurentides (CRE Laurentides) (2009). **Trousse des lacs – Fiche sur la conductivité spécifique**. En ligne [<https://crelaurentides.org/dossiers/eau-lacs/trousse-des-lacs>] Consulté en 2019.
- Denis-Blanchard, Ariane (2015). **Effet du développement résidentiel sur la distribution et l'abondance des macrophytes submergés dans la région des Laurentides et de Lanaudière**. Université de Montréal : Faculté des arts et des sciences, Département de sciences biologiques. En ligne [<https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/13449>] 103 p.
- Eiswerth, M. E., Donaldson, S. G. et W. S. Johnson (2000) **Potential environmental impacts and economic damages of Eurasian watermilfoil (*Myriophyllum spicatum*) in Western Nevada and Northeastern California**. *Weed Science Society of America*, 14(3): 511-518.
- Espace Hydravion (2019). **Hydrobases et lacs de destination en hydravion**. En ligne [https://www.espacehydravionequebec.com/hydrobase_lac_hydravion.php] Consulté décembre 2019.
- Esri (2019). Méthodes de classification des données. En ligne [<https://pro.arcgis.com/fr/pro-app/help/mapping/layer-properties/data-classification-methods.htm>] Consulté en décembre 2019.
- Fédération québécoise des chasseurs et pêcheurs (2019). **Carte Allons pêcher**. En ligne [<https://carte.allonspecher.com/>] Consulté en août 2019.
- Google (2020). **Google Earth**. En ligne [<https://www.google.com/earth/>] Consulté en janvier 2020.

- Graham, David (2017). **Aérodromes de la circonscription**. Publié dans l'infolettre de l'Automne 2017 du député fédéral de Laurentides-Labelle
- Greene, Mélissa (2012). **Effet du développement résidentiel sur l'habitat et la distribution des macrophytes dans les lacs des Laurentides**. Université de Montréal : Faculté des arts et des sciences, Département de sciences biologiques. En ligne [<https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/8538>] 81 p.
- Jacob-Racine R., et C. Lavoie (2018). **Reconstitution historique de l'invasion du Québec par le myriophylle à épi (*Myriophyllum spicatum*)**. Le Naturaliste Canadien, 142(3):40-46.
- June-Wells, M., Gallagher, F., Gibbons, J. et G. Bugbee (2013). **Water chemistry preferences of five nonnative aquatic macrophyte species in Connecticut: a preliminary risk assessment tool**. Lake dans Reservoir Management, 29:303-316.
- Kanankege, K. S. T, Alkhamis, M. A., Phelps, N. B. D. et A. M. Perez (2018). **A Probability Co-Kriging Model to Account for Reporting Bias and Recognize Areas at High Risk for Zebra Mussels and Eurasian watermilfoil Invasions in Minnesota**. Frontiers in Veterinary Science, 4(231).
- Kruskal, W. H., et W. A. Wallis (1952). **Use of ranks in one-criterion variance analysis**. Journal of the American Statistical Association, 47 : 583–621.
- Institut de la statistique du Québec (ISQ) (2019). **Population et structure par âge et sexe**. En ligne [<http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/population-demographie/structure/municipalites-total.xlsx>] Consulté en décembre 2019.
- Maine Department of Environmental Protection (2019). **Understanding the vulnerability of Maine lakes to invasive aquatic plants**. En ligne [<https://www.maine.gov/dep/water/invasives/vulnerability.html>]. Consulté en janvier 2020.
- McHugh, M. L. (2013). **The Chi-square test of independence**. Biochemia Medica, 23(2): 143-149.
- Madsen, J. D. (1997) **Predicting invasion success of Eurasian Watermilfoil**. Journal of Aquatic Plant Management, 36: 28-32.
- Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation (MAMH) (2019). **Organisation territoriale – Régions administratives – Région des Laurentides**. Gouvernement du Québec. En ligne [<http://www.mamrot.gouv.qc.ca/fileadmin/cartes/region/15.pdf>] Consulté en avril 2019.
- Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation (MAMH) (2019a). **Répertoire des municipalités** Gouvernement du Québec. En ligne [<https://www.mamh.gouv.qc.ca/recherche-avancee/fiche/municipalite/77065/>] Consulté en août 2019.
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) (2019). **Sentinelles – Outil de détection des espèces exotiques envahissantes**. Gouvernement du Québec. En ligne [<http://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/especes-exotiques-envahissantes/sentinelles.htm>] Consulté en décembre 2019.
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) (2019a). **Réseau de surveillance volontaire des lacs**. Gouvernement du Québec. En ligne [<http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/rsvl/relais/index.asp>] Consulté en août 2019.
- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) (2018). **Guide des bonnes pratiques en milieu aquatique dans le but de prévenir l'introduction et la propagation d'espèces aquatiques envahissantes**. En ligne [https://mffp.gouv.qc.ca/wp-content/uploads/GUIDE_nettoyage_embarcations_MFFP.pdf] Consulté en août 2019.
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) (2016B). **Protocole de détection et de suivi des plantes aquatiques exotiques envahissantes (PAEE) dans les lacs de villégiature du Québec**. Direction de l'information sur les milieux aquatiques, Direction de l'expertise en biodiversité, ISBN 978-2-550-76075-7 (PDF, 2016), 54 p. En ligne [<http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/paee/index.htm>]
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) (2006). **Carte du réseau hydrique de la région des Laurentides**. Direction des politiques de l'eau, Bureau de la gestion par bassin versant.
- Municipalité de Saint-Donat (2019a). *Communications personnelles*.
- Municipalité de Saint-Donat (2019b). **Règlement numéro 15-923 relatif au plan d'urbanisme et de développement durable**. En ligne [http://www.saint-donat.ca/files/Texte%20PU%20-%202019_09-11.pdf]. Consulté en février 2020.

- Municipalité régionale de comté (MRC) des Pays-d'en-Haut (2015). **Profil socio-économique de la MRC des Pays-d'en-Haut**. En ligne [<https://lespaysdenhaut.com/wp-content/uploads/2016/06/Profil-socio-economique-FINAL-2015.pdf>]. Consulté en août 2019.
- Nichols, S. A. (1994). **Evaluation of invasions and declines of submersed macrophytes for the Upper Great Lakes region**. *Lake and Reservoir Management*, 10:29-33.
- Olden, J. D., et M. Tamayo (2014a). **Incentivizing the public to support invasive species management: Eurasian milfoil reduces lakefront property values**. *PLoS ONE*, 9:10, e110458.
- Olden, J. D., et M. Tamayo (2014b). **Forecasting the vulnerability of lakes to aquatic plant invasions**. *Invasive Plant Science and Management*, 7:32-45.
- QGIS Development Team (2019). **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. [<http://qgis.osgeo.org>] Consulté en novembre 2019.
- R Core Team (2018). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. En ligne [<https://www.r-project.org/>] Consulté en novembre 2019.
- Roley, S. S., et R. M. Newman (2008). **Predicting Eurasian watermilfoil invasions in Minnesota**. *Lake and Reservoir Management*, 24(4):361-369.
- Rothlisberger, J. D. et D. M., Lodge (2010). **Limitations of gravity models in predicting the spread of Eurasian watermilfoil**. *Conservation Biology*, 25 (1): 64-72.
- Scherrer, B. (1984). **Biostatistique**. Éditions Gaëtan Morin, Montréal, 576 p.
- Transport Canada (2019). **Règlement sur les restrictions visant l'utilisation des bâtiments - Loi sur la marine marchande du Canada**. En ligne [<https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/dors-2008-120/TexteCompleet.html>] Consulté novembre 2019.
- Seekamp, E., McCreary, A., Mayer, J., Zack, S., Charlebois, P. et L. Pasternak (2016). **Exploring the efficacy of an aquatic invasive species prevention campaign among water recreationists**. *Biological Invasions*, 18: 1745-1758.
- Smith, C. S., et J.W. Barko (1990). **Ecology of Eurasian watermilfoil**. *Journal of Aquatic Plant Management*, 28:55-64.
- Wright, R. E. (1995). **Logistic regression**. Dans L. G. Grimm et P. R. Yarnold (Eds.), *Reading and understanding multivariate statistics*. American Psychological Association, 217-244.
- Zhang, C., et K. J. Boyle (2010). **The effect of an aquatic invasive species (Eurasian watermilfoil) on lakefront property values**. *Ecological Economics*, 70(2):394-40

7. ANNEXES

ANNEXE 1 – RÉPARTITION DES LACS DE SAINT-ADOLPHE-D'HOWARD ET DE SAINT-DONAT NON AFFECTÉS (NA), AINSI QUE DES LACS DES LAURENTIDES AFFECTÉS PAR LE MYRIOPHYLLE À ÉPI SELON LES CRITÈRES DE VULNÉRABILITÉ FACE À L'INTRODUCTION

VARIABLES	CLASSIFICATION	LACS AFFECTÉS (N=38)	LACS ST-DONAT (NA) (N=16)	LACS ST-ADOLPHE (NA) (N=25)	Répartition TOTAL LACS AFFECTÉS (%)	Répartition TOTAL LACS NON AFFECTÉS (NA) (%)
Type d'accès	Catégorique					
	Aucun	12	8	3	31	27
	Accès privé	6	1	21	16	54
	Accès public	17	7	0	45	17
	Accès publics (2 et +)	3	0	1	8	2
Réseau routier à proximité	Catégorique					
	Aucun	16	11	13	42	59
	Route nationale/régionale	21	5	12	55	41
	Autoroute	1	0	0	3	0
Nettoyage	Catégorique					
	Lavage + nettoyage + sensibilisation	0	0	0	0	0
	Lavage obligatoire	22	16	25	58	100
	Aucune mesure	16	0	0	42	0
Habitations riveraines	Continue					
	Moyenne	180	166	51	s/o	s/o
	Médiane	139	87	36	s/o	s/o
Type d'embarcation	Catégorique					
	Aucune	0	0	5	0	12
	Moteur électrique	2	2	0	5	5
	Moteur à essence	22	12	18	58	73
	Hydravion	14	2	2	37	10
Distance d'un lac affecté	Continue					
	Moyenne	6,9	19,3	8,9	s/o	s/o
	Médiane	4,7	22,8	9,2	s/o	s/o
Lac affecté en amont	Catégorique					
	ND	3	0	0	8	0
	Non	26	16	25	68	100
	Oui	9	0	0	24	0

ANNEXE 2 – POINTAGES OBTENUS À LA SUITE DE L'ANALYSE MULTICRITÈRE DE LA VULNÉRABILITÉ DES LACS DE SAINT-ADOLPHE-D'HOWARD (N=25), SAINT-DONAT (N=16) ET DES LACS AFFECTÉS DES LAURENTIDES (N=38) FACE À L'INTRODUCTION DU MYRIOPHYLLE À ÉPI.

Légende

Peu vulnérable	0-40
Vulnérable	41-70
Très vulnérable	71-170

Pointages obtenus à la suite de l'analyse multicritère de la vulnérabilité à l'introduction des lacs de Saint-Donat (n=16)

LAC	T_ACC	AUTOR	NETT	HAB_RIV	T_EMB	LAC_AD	LAC_AA	TOTAL
Rochemaure	0	0	5	0	2	0	0	7
Bouillon	0	0	5	0	5	0	0	10
Élan	0	0	5	0	5	0	0	10
Léon	0	0	5	0	5	0	0	10
Major	0	0	5	0	5	0	0	10
Clef	0	0	5	5	5	0	0	15
Bœuf	0	0	5	0	5	15	0	25
Beauchamp	10	5	5	5	2	0	0	27
Baribeau/des Aulnes	30	0	5	10	5	0	0	50
Croche	30	0	5	10	5	0	0	50
Montagne Noire (de la)	0	0	5	10	5	30	0	50
Pimbina	30	5	5	5	5	0	0	50
Sylvère	30	0	5	10	5	0	0	50
Provost	30	5	5	10	5	0	0	55
Ouareau	30	5	5	10	15	0	0	65
Archambault	30	5	5	10	15	15	0	80
Valeurs maximales	40	10	25	10	15	30	40	170

Pointages obtenus à la suite de l'analyse multicritère de la vulnérabilité à l'introduction des lacs de Saint-Adolphe-d'Howard (n=25)

LAC	T_ACC	AUTOR	NETT	HAB_RIV	T_EMB	LAC_AD	LAC_AA	TOTAL INTRO
Sainte-Marie	0	0	5	10	5	0	0	20
Montagne (de la)	10	5	5	5	0	0	0	25
Pins (des)	0	5	5	0	5	15	0	30
Saint-Denis	0	5	5	5	0	15	0	30
Gémont	10	5	5	0	5	15	0	30
Chevreuils	10	5	5	0	5	15	0	30
Beauchamp	10	0	5	0	5	15	0	35
Trois-Frères (des)	10	5	5	0	0	15	0	35
Noir	10	0	5	5	0	15	0	35
Grosse (la)	10	0	5	0	5	15	0	35
Dépatie	10	0	5	0	5	15	0	35
Cabane (de la)	10	0	5	0	5	15	0	35
Vingt Sous	10	0	5	5	0	15	0	35
Long	10	5	5	0	5	15	0	40
Petit lac Long	10	5	5	0	5	15	0	40
Louise	10	0	5	5	5	15	0	40
Bois Franc	10	5	5	0	5	15	0	40
Truite (à la)	10	0	5	5	5	15	0	40
Cornu	10	0	5	5	5	15	0	40
Vert	10	5	5	5	5	15	0	45
Pierre-Aubin	10	0	5	0	5	30	0	50
Garry	10	0	5	5	5	30	0	55
Petit Sainte-Marie	10	5	5	5	5	30	0	60
Cœur (du)	10	0	5	10	5	30	0	60
Saint-Joseph	40	5	5	10	5	15	0	80
Valeurs maximales	40	10	25	10	15	30	40	170

Pointages obtenus à la suite de l'analyse multicritère de la vulnérabilité à l'introduction des lacs affectés (n=38)

LAC	T_ACC	AUTOR	NETT	HAB_RIV	T_EMB	LAC_AD	LAC_AA	TOTAL
Papineau	10	0	25	5	15	0	0	55
Duhamel	0	5	5	10	5	30	0	55
Ouimet (Mont-Tremblant)	10	5	5	5	2	30	0	57
Tibériade	30	0	5	10	15	0	0	60
Beaven	0	5	5	10	5	15	20	60
Maskinongé	10	5	5	10	15	15	0	60
Gagnon	0	0	25	5	2	30	0	62
Saint-Paul	30	5	5	10	15	0	0	65
Pope	30	0	25	5	5	0	0	65
Supérieur	10	0	25	10	5	15	0	65
René	0	5	25	5	5	30	0	70
O'Neil	0	5	25	5	5	30	0	70
Ludger	30	5	5	10	5	15	0	70
Guérin	0	5	25	5	5	15	20	75
Écorces (des) (Barkmere)	30	0	5	10	15	15	0	75
Truite (à la) (Sainte-Agathe-des-Monts)	10	10	25	10	5	15	0	75
Connelly	0	0	25	10	15	30	0	80
Quenouille	10	0	25	10	5	30	0	80
Renaud	10	0	25	10	5	30	0	80
Seize (des)	0	5	25	10	15	30	0	85
Gauvin	30	5	5	10	5	30	0	85
Cèdres (des)	0	5	25	0	5	30	20	85
Carré	30	0	25	10	5	15	0	85
Grand lac du Cerf	30	5	5	10	15	30	95	90
Mercier	30	5	5	10	15	30	0	95
Labelle	30	0	5	10	15	15	20	95
Chapleau	30	0	5	10	15	15	20	95

Petit lac du Cerf	0	5	5	5	15	30	40	100
Hamel	30	0	25	0	15	30	0	100
Achigan (de l')	40	5	5	10	15	30	0	105
Écorces (des) (Lac-des-Écorces)	30	5	25	10	15	30	0	105
Pins (des)	40	0	25	5	5	30	0	105
Iles (des) (Saint-Aimé-du-lac-des-Iles)	40	5	25	10	15	15	0	110
Bonnécal	0	5	25	5	5	30	40	110
Tapani	30	5	25	10	15	30	0	115
Laurel	30	0	5	10	5	30	40	120
Écho (Prévost/Saint-Hippolyte)	30	5	25	10	5	30	20	125
Forgeron	30	0	25	5	5	30	40	135
Valeurs maximales	40	10	25	10	15	30	40	170

ANNEXE 3 – POINTAGES OBTENUS À LA SUITE DE L'ANALYSE MULTICRITÈRE DE LA VULNÉRABILITÉ DES LACS DE SAINT-ADOLPHE-D'HOWARD (N=11), SAINT-DONAT (N=10) ET DES LACS AFFECTÉS DES LAURENTIDES (N=24) FACE À LA PROPAGATION DU MYRIOPHYLLE À ÉPI.

Pointages obtenus à la suite de l'analyse multicritère de la vulnérabilité à la propagation des lacs de Saint-Adolphe-d'Howard (n=11)

LAC	FOND_COLO	COND	HAB_SUP	AGRI	U_EMB	TOTAL
Trois-Frères (des)	20	0	0	0	0	20
Saint-Denis	10	15	0	0	0	25
Vingt Sous	20	15	0	0	0	35
Sainte-Marie	20	15	0	0	10	45
Montagne (de la)	20	15	15	0	0	50
Saint-Joseph	10	15	15	0	10	50
Gémont	20	15	15	0	10	60
Louise	20	15	15	0	10	60
Garry	20	15	15	0	10	60
Vert	20	15	15	0	10	60
Truite (à la)	40	15	30	0	10	95
Valeurs maximales	40	30	30	30	10	140

Pointages obtenus à la suite de l'analyse multicritère de la vulnérabilité à la propagation des lacs de Saint-Donat (n=10)

LAC	FOND_COLO	COND	HAB_SUP	AGRI	U_EMB	TOTAL
Archambault	10	0	0	0	10	20
Pimbina	10	0	0	0	10	20
Ouareau	10	0	0	0	10	20
Montagne Noire (de la)	10	0	0	0	10	20
Provost	10	0	0	0	10	20
Croche	20	0	0	0	10	30
Sylvère	20	0	0	0	10	30
Clef	20	0	0	0	10	30
Bœuf	20	0	0	0	10	30
Beauchamp	20	15	15	0	5	55
Valeurs maximales	40	30	30	30	10	140

Pointages obtenus à la suite de l'analyse multicritère de la vulnérabilité à la propagation des lacs affectés (n=24)

LAC	FOND_COLO	COND	HAB_SUP	AGRI	U_EMB	TOTAL
Écorces (des) (Barkmere)	10	0	0	0	10	20
Achigan (de l')	0	15	0	0	10	25
Ouimet	10	15	0	0	5	30
Supérieur	10	15	0	0	10	35
Ludger	10	15	0	0	10	35
Mercier	10	15	0	0	10	35
Quenouille	40	0	0	0	10	50
Laurel	10	15	15	0	10	50
Beaven	0	15	0	30	10	55
Labelle	0	15	0	30	10	55
Maskinongé	0	15	0	30	10	55
Petit lac du Cerf	10	10	0	30	10	60
Duhamel	20	30	0	0	10	60
René	20	15	15	0	10	60
Iles (des) (Saint-Aimé-du-lac-des-Iles)	10	15	0	30	10	65
Saint-Paul	10	15	0	30	10	65
Pope	10	15	0	30	10	65
Connelly	10	15	30	0	10	65
Gauvin	20	15	0	30	10	75
Truite (à la) (Ste-Agathe-des-Monts)	10	30	30	0	10	80
Carré	20	30	30	0	10	90
Gagnon	40	30	15	0	5	90
Renaud (Prévost)	40	15	30	0	10	95
Écho (Prévost/Saint-Hippolyte)	40	30	15	0	10	95
Valeurs maximales	40	30	30	30	10	140

Légende

Peu vulnérable	0-30
Vulnérable	31-59
Très vulnérable	60-140

